Einwirkung der verschiedenen Kalisalze
auf die
Phosphorsäureaufnahme der Pflanzen
und die
Ausnutzung der Phosphate.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer

hohen philosophischen Fakultät

der

Georg-August-Universität zu Göttingen

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

vorgelegt von

N. Aiyangar
aus Bangalore (Indien).

Göttingen.
Gedruckt bei Hubert & Co., G. m. b. H.
1917.

Der hohen philosophischen Fakultät der Universität Göttingen
vorgelegt am 22. Juni 1917.

Tag der mündlichen Prüfung: 1. August 1917.
Referent: Herr Prof. Dr. P. Ehrenberg.

Die Drucklegung ist seitens der Fakultät genehmigt.

Die Erfahrung mancher Beobachter in der landwirtschaftlichen Praxis, daß phosphorsäurehaltiger Dünger in Verbindung mit Kalidünger angewendet bessere Erträge lieferte als wenn er allein benutzt wurde, veranlaßte Haselhoff [1]) Versuche in dieser Richtung anzustellen. Durch Experimente im Laboratorium fand er, daß Kalisalze, wenn sie mit Thomasmehl gemischt wurden, den Gehalt der in Citronensäure löslichen Phosphorsäure von 88.88 % auf 100 % des Gesamtgehalts an Phosphorsäure im Thomasmehl steigerten. Vegetationsversuche ergaben darauf, daß auch, zumal bei vorheriger Mischung des Phosphatdüngers mit den Kalisalzen, die Pflanze tatsächlich Vorteil und vermehrte Phosphorsäureaufnahme durch Kalisalzbeidüngung erzielen kann. Nach Haselhoff ist weder das Verhältnis der Kalisalze zum Thomasmehl, noch die Art der Kalisalze von irgend welcher Bedeutung für die größere Löslichkeit der Phosphorsäure im Thomasmehl.

Die Düngungsversuche von Lilienthal [2]) auf Niederungsmoorwiesen mit Kainit und Thomasmehl zeigten, daß Höchsterträge nur dann erzielt werden konnten, wenn die beiden Düngemittel in gleichen Verhältnissen angewandt wurden. Ähnliche Versuchsdüngungen mit Thomasmehl und Kalisalzen sind von Wein [3]), sowie von v. Feilitzen [4]) angestellt worden.

Leider lassen sich diese Untersuchungen zumeist nicht

---

[1]) Landw. Zeitung für Westfalen und Lippe 1900 S. 234 etc. und landw. Jahrbücher 1905 S. 623 etc.

[2]) Illustrierte landw. Zeitung 1906 S. 515.

[3]) Arb. d. D. L. G. 1907 Heft 127.

[4]) Mitt. d. Vereins z. Förderung d. Moorkultur im D. R. Bd. 25 S. 192 etc.

gut zu einer Beurteilung der vorliegenden Frage benutzen, sodaß wesentlich nur die Versuche von Haselhoff übrig bleiben. Die Forschung auf dem vorliegenden Gebiet wird aber durch den Umstand erschwert, daß auch die Pflanze in den Vorgang der Löslichkeit der Phosphorsäure im Boden wechselnd und stark einzugreifen vermag. Versuche von P. Kossowitsch [1]) zeigen dies, wie auch Arbeiten von Th. Pfeiffer und Blanck [2]) lehren, daß verschiedene Pflanzen, wie Hafer und Lupinen, sich ganz verschieden gegenüber verschiedenen Quellen der P_2O_5 verhalten.

Das Verhalten von Wasser und Salzlösungen zu den Phosphaten im Erdboden ist von Cameron und Bell [3]) untersucht worden, wie auch die Wirkung einer Chlorkaliumlösung auf die drei Calciumphosphate. Sie fanden, daß neutrale Salzlösungen den Gehalt an P_2O_5 und Kalk vermehrten, indem diese aus den Calciumphosphaten in Lösung gingen, wie dies ja auch durch die Löslichkeitsvermehrung bei Hinzutreten von Salzen mit verschiedenartigen Ionen zu erwarten ist. Das Verhalten löslicher Salze zu unlöslichen Phosphaten ist noch von Greaves [4]) studiert worden, der Versuche mit sechs natürlichen Phosphaten und einem Gemisch eines natürlichen Phosphats mit Erde inbezug auf die Löslichkeit der Phosphorsäure in 1% igen Lösungen von Sulfaten, Nitraten und Chloriden der Alkalien anstellte. Er fand, daß Kalisulfat die Löslichkeit der Phosphate steigerte und daß Natrium- und Kaliumnitrate nur die Löslichkeit des Calciumphosphats vermehrten. Der Einfluß der Natrium- und Kaliumchloride ist als gering erkannt worden und verschieden je nach den wechselnden im Versuch verwendeten Phosphaten. Die Mischung von Erde und Phosphaten trug dazu bei, die lösende Wirkung der Salze auf die Phosphate, besonders die des Ammoniumnitrats, zu vergrößern.

---

[1]) Russ. Journ. f. exp. Landw. 1909, Bd. 10 S. 840—42 Deutscher Auszug.

[2]) Landw. V. Stat. Bd. 84, 1914 S. 93 etc.

[3]) U. S. Dept. of Agr. Bur. of Soils. Bull. 41.

[4]) Journ. of Biol. Chem. 1910 Vol. 7, p. 319 etc.

Auch die anderen Faktoren, die bei der Aufnahme von Phosphorsäure durch die Pflanzen eine Rolle spielen, sind von Zeit zu Zeit untersucht worden. Die Fähigkeit des Ammoniumsulfats, durch seine „physiologisch sauren“ Eigenschaften oder anderweit den Pflanzen die Aufnahme der Phosphorsäure aus den Rohphosphaten zu erleichtern, ist von Prianischnikow[1]), Sebelien[2]), Schulow[3]), Mitscherlich und Simmermacher[4]), Nedokutschajew[5]) und Söderbaum[6]) geprüft worden. Die meisten Forscher fanden, daß $(NH_4)_2SO_4$ eine sehr starke lösende Wirkung auf die Roh-Phosphate ausübt, was durch die Aufnahme von P_2O_5 durch Hafer angezeigt wurde. Die Untersuchungen von C. v. Seelhorst[7]) über den Einfluß der schwefelsäurehaltigen Düngemittel auf die Wirksamkeit gleichzeitig gegebener phosphorsäurehaltiger Düngemittel verschiedener Art lassen die Wirksamkeit dieser Düngemittel nicht nur an den Erträgen, sondern auch an der Ausbildung der einzelnen Pflanzenteile erkennen. Daß Calciumsulfat (Gips) einen sehr günstigen Einfluß auf die Aufnahme von P_2O_5 aus Knochenmehl ausübt, ist von Katayama[8]) und Uchiyama[9]) behauptet worden. Leider sind Katayamas Versuche nicht umfangreich genug, um einwandfreie Schlüsse zu ermöglichen, auch fehlt Paralleldurchführung. Daß aber $CaCO_3$ gerade den entgegengesetzten Einfluß ausübt, ist bekannt aus den Untersuchungen von Kellner und Böttcher[10]), Prianischnikow[11]) und Rindell[12]).

---

[1]) Ref. Jahrb. Agr. Chem. 1905 S. 174.

[2]) Ref. Jahrb. Agr. Chem. 1909. S. 137.

[3]) Jahrb. Agr. Chem. 1909 S. 140 und 1993 S. 127.

[4]) Landw. V. Stat. Bd. 79 und 80 S. 71—96.

[5]) Russ. Journ. f. exp. Landw. 1913 Bd. 14 S. 25, Ref. nach Jahrb. Agr. Chem. 1913 S. 128.

[6]) Landw. V. Stat. 68, 433, (1908).

[7]) Journ. f. Landw. 1903. 5, 212—222.

[8]) Bull. Colleg. Agricultur. Tokyo 6, Nr. 4, (1905).

[9]) Ref. Jahrb. Agr. Chem. 1907. S. 151.

[10]) Deutsche Landw. Presse 1901 Nr. 23 u. 24.

[11]) Landw. V. Stat. 1906 Bd. 64 S. 23, 1911 S. 357—376.

[12]) Jahrb. Agr. Chem. 1908 S. 182.

Nach Söderbaum[1]) ist die Aufnahme von P_2O_5 aus schwerlöslichen Phosphaten nicht nur vom Stickstoff und Calcium abhängig, sondern auch von der im Dünger enthaltenen Magnesiummenge, wie Versuche mit Hafer, Gerste und Weizen ergeben haben. Leider sind diese Erkenntnisse nur auf Grund der Ermittelung von Ernteerträgen gewonnen und nicht auf Grund von Bestimmung der tatsächlich von den Pflanzen aufgenommenen P_2O_5.

Das Gleiche gilt von einer Arbeit C. Begers[2]), die sonst nach mancher Richtung vielleicht geeignet gewesen wäre, mit Hinblick auf die Wirkung der beigegebenen Kali- usw. Salze für die Lösung der Phosphate nähere Aufklärung zu geben.

Daß auch Bakterien und Hefe bei dem Prozeß, die unlöslichen Phosphate den Pflanzen nutzbar zu machen, eine Rolle spielen können, ist von Koch und Kröber[3]) untersucht worden. Auch Gründüngung wirkt in derselben Richtung günstig, wie es wenigstens nach Grazia[4]) der allgemeinen Annahme entspricht.

Die Mehrzahl der bisher vorliegenden Versuche ist in kalk- und phosphorsäurearmen Sand- oder Lehmböden ausgeführt worden, so die von Haselhoff, die für mich besonders wichtig sind, in kalkärmerem Sandboden mit 0,18% CaO. Außerdem ist der Einfluß der Ammonium- und Kalisalze auf die Aufnahme von P_2O_5 bis jetzt meist nur bei Hafer untersucht worden. Söderbaum[5]) wie Haselhoff dehnten ihre Beobachtungen auch auf Gerste, bezw. auf Weizen aus. Pfeiffer[6]) verwandte Lupine und Hafer für seine Versuche über die Aufnahme von P_2O_5.

Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, daß Hülsen-

---

[1]) Ref Centr. Agr. Chem. 1916 S. 75.

[2]) Landwirtsch. Versuchsstat 88, 291, (1916).

[3]) Fühlings Landw. Zeitung 1906 S. 225 u. Journ. f. Landw. 1909 Bd. 57 S. 5—80.

[4]) Jahrb Agr. Chem. 1907 S. 190.

[5]) L. V. S. Bd. 68 S. 433 etc.

[6]) L. V. S. Bd. 86. 1914 S. 93 etc.

früchte eine erhebliche Menge P_2O_5, K_2O und in vielen Fällen auch Kalk beanspruchen und daß sie für eine ausreichende Versorgung damit besonders dankbar sind; nur Lupinen, Serradella und Wicklinse verhalten sich abweichend inbezug auf Kalk [1]).

Daß $CaCO_3$ im allgemeinen ungünstig auf die Aufnahmefähigkeit von Phosphaten wirkt, besonders dann, wenn kein $(NH_4)_2SO_4$ als Stickstoffdünger gegeben wurde, ist eine Tatsache, die schon von verschiedenen Forschern beobachtet worden ist; besonders sei hier auch auf die Untersuchungen von W. Simmermacher hingewiesen [2]), der für einbasisch phosphorsauren Kalk geringere, für zweibasisch phosphorsauren Kalk dagegen erhebliche Erschwerung der Phosphorsäureaufnahme dabei feststellte. — Ob Kalisalze hierbei, oder überhaupt, eine Rolle für die Aufnahme von P_2O_5 spielen, scheint bis jetzt noch nicht untersucht worden zu sein. Da besonders in kalkreichen Böden die Aufnahme der Phosphorsäure aus schwerer löslichen Phosphaten für die Pflanze sehr behindert wird, und für Versuche zur Verfügung stehender Sand hohen Kalkgehalt aufwies, wurde es für nützlich gehalten, gerade diesen Fall näher zu untersuchen und dabei den Einfluß verschiedener Kalidünger zu ermitteln. Um den Einfluß des N-Düngers vollkommen auszuschalten, wurde als Versuchspflanze eine Leguminose und zwar die Pferdebohne gewählt, ebenso, um die Verhältnisse des Phosphorsäurebedarfs bei Kalkreichtum des Bodens deutlich darzustellen.

Die Pferdebohne gewährt eine leidlich sichere Ernte auf bindigem, kalkhaltigem Lehm- oder Tonboden. Ihr starkes Aufnahmevermögen für Phosphorsäure, das sogar die Einwirkung beigegebenen, kohlensauren Kalkes in gewisser Hinsicht zu überwinden vermag [3]), schien für die von uns beabsichtigten Versuche besonders bedeutungsvoll zu sein.

[1]) Krafft, Pflanzenbaulehre. 9. Aufl., S. 65.

[2]) W. Simmermacher, Landw. Vers. Stat. 77, 441, (1912).

[3]) Pfeiffer, Simmermacher und Spangenberg. Landw. V. Stat. 89, 228, (1916).

Bei einem großen Bedarf der Bohne an K_2O und P_2O_5 sind nach Erfahrung praktischer Landwirte die besten Ernten erzielt worden, wenn sie in Stallmist angebaut wurde [1]). Doch ist es fraglich, ob es sich hierbei um ein vom Standpunkt der Pflanzenernährung begründetes Urteil handelt, und nicht nur wirtschaftliche Gründe dafür anzuführen sind [2]).

Zwecks möglichster Ausschaltung etwaiger unerwünschten Wechselwirkungen zwischen Kalidünger und Versuchsboden kam für die Versuche ohnehin nur Sand in Betracht, der als kalkreicher (3 % CaO)-Sandboden benutzt wurde. Daß der Sand ziemlich reich an allerdings sehr schwer löslicher P_2O_5 (0,100 % P_2O_5) und deshalb als nicht besonders geeignet für Versuche über Phosphorsäure-Aufnahme zu bezeichnen war, stellte sich leider zu spät heraus, um unter den herrschenden Verhältnissen die Heranschaffung eines anderen kalkreichen Sandes mit geringem Phosphorsäuregehalt zu erlauben.

Die folgenden Versuche wurden also mit Sand, dessen Gehalt an $CaCO_3$ 5,35%, an Gesamtphosphorsäure 0,10%, an leichter [3]) löslicher Phosphorsäure 0,033 % betrug, ausgeführt.

Die Versuche wurden in Zinkgefäßen, von der Form, wie sie zu diesem Zweck gewöhnlich in Gebrauch sind, angesetzt. Die Innenseite der Gefäße war sorgfältig doppelt lackiert wie auch die Einsätze zum Zweck der Ventilation und Zufuhr von Wasser ebenso geschützt waren. Jedes Gefäß wurde mit 22 kg Sand, der 21,24 kg trockene Substanz enthielt, angefüllt und die Feuchtigkeit auf 60% der Wasserkapazität des verwendeten Sandes während der ganzen Periode des Wachstums erhalten.

Diese verhältnismäßig geringe Wasserversorgung mußte

---

[1]) Krafft, Pflanzenbaulehre 9. Aufl. S. 74.

[2]) Ber. d. Versuchswirtschaft Lauchstädt II und III, Landw. Jahrbücher 1899.

[3]) Löslich in HNO_3 enthaltend 500 mg N_2O_5 pro Liter nach der Methode von A. v. 'Sigmond.

zweifellos als Nachteil erscheinen, gerade bei Versuchen über Phosphorsäureaufnahme, die bekanntlich besonders stark durch verhältnismäßige Trockenheit beeinträchtigt wird. Doch war wieder gerade aus diesem Grunde ein deutlicheres Hervortreten einer Förderung der Phosphorsäureaufnahme zu erwarten. Außerdem fürchtete ich, bei stärkeren Wassergaben in dem Sande eine weniger günstige Ausbildung der Wurzelknöllchen und auch der ganzen Pflanze infolge zu geringer Bodendurchlüftung erwarten zu müssen, da ja die Pferdebohne ohnehin nicht als an den Sand angepaßte Pflanze bezeichnet werden kann.

Es wurden 8 Versuchsreihen in folgender Weise angeordnet:

I. ohne besondere P_2O_5 Düngung
II. 1 g P_2O_5 als $CaH_4(PO_4)_2$
III. 1 g P_2O_5 als Scheidemandel Knochenmehl „Dreia“ enthaltend 21.0 % Gesamt-P_2O_5.
IV. 1 g P_2O_5 als Thomasmehl mit 18,95 % Gesamt-P_2O_5.
V. 1 g P_2O_5 als $Ca_3(PO_4)_2$ von der Firma Kahlbaum, 42,0 % P_2O_5,
VI. wie V, aber gut geglüht in der Platinschale in der Muffel.
VII. 1 g P_2O_5 als $Ca_3(PO_4)_2$, hergestellt nach Warington [1]) und feucht angewendet.
VIII. wie VII, aber bei 100° C. getrocknet.

Jede Reihe hatte vier Abteilungen:

a) 2,0 g Kali als K_2SO_4, 1,0 g Kali als KCl, beides Kalireinsalze; in fünf Einzelgaben zu verschiedenen Zeiten gegeben.

b) wie a, aber alles zu Beginn der Versuche gegeben.

c) 3 g Kali als 30 % Kalidüngesalz.

d) 3 g Kali als 30 % Kalidüngesalz + NaCl in zwei Gaben zu je 5 g gegeben.

Die Grunddüngung bestand aus:

0,5 g N als $Ca(NO_3)_2$; 1,0 g MgO als $MgSO_4$.

[1]) Journ. chem. Soc. London 1873 p. 984.

5,0 g CaO als $CaSO_4$ nach Abzug des in dem betreffenden Phosphat gefundenen CaO.

0,5 g Na_2O als Na_2SO_4.

0,5 g Na_2O als NaCl.

0,14 g N als Tropon, als Ausgleich zu dem im Knochen-Mehl vorhandenen organischen N.

0,25 g P_2O_5 als K_3PO_4, um den Pflanzen im ersten Wachstumsstadium auszuhelfen und die etwaige P_2O_5 Festlegung durch Eisengehalt und Tonerdegehalt des Sandes [1]) einigermaßen auszugleichen.

Die Versuchsergebnisse haben später gezeigt, daß es vielleicht vorteilhaft gewesen wäre, diese für die Pflanzen geschaffene „Grundlage“ an wasserlöslicher Phosphorsäure fortzulassen, da überhaupt die Aufnahme des untersuchten Pflanzennährstoffes eine unerwünscht geringe blieb. Indessen läßt sich Sicheres darüber wohl kaum äußern.

Der Zweck der Kochsalzdüngung in Abteilung d war, die Wirkung einer Düngung mit gewöhnlichem niedrigprozentigem Kali-Salz auf die Pferdebohne und deren Fähigkeit P_2O_5 aufzunehmen, sowie den Einfluß von Kochsalz überhaupt zu prüfen, zumal gewöhnliches Kochsalz auch als Beidünger für Pferdebohnen empfohlen wird [2]). Die sämtlichen Abteilungen der Reihen I und II hatten je 5 Parallel-Gefäße, die übrigen Reihen waren mit Parallelversuchen in je 4 Gefäßen vertreten.

Alle leicht löslichen Salze sind in Form von Lösungen gegeben worden, und $CaSO_4$, Tropon und die Phosphatdünger wurden gut mit dem Sand gemengt, ehe sie in die Gefäße getan wurden.

Die Einzelgaben von K_2O für die Gefäße der Abteilung (a) jeder Reihe wurden an den folgenden Tagen verabreicht:

23. Mai; 20. Juni; 29. Juni u. 10. Juli 1916 (4.+5. Gabe zusammen).

[1]) Vgl. Pfeiffer, Simmermacher und Rathmann. Landw. V. Stat. 87, 204 (1915). Ferner Pfeiffer und Simmermacher, ebd. 88, 458 (1916).

[2]) Krafft, Pflanzenbaulehre 9. Aufl. S. 74.

Das NaCl der Abteilung d) jeder Reihe wurde in zwei Gaben hintereinander verabfolgt, 5 g bei Füllung der Gefäße und weitere 5 g am 29. Juni 1916.

Da der Sand nicht ausreichte, um alle Gefäße zu füllen, — infolge eines Irrtums des Fuhrmanns war zu wenig angefahren worden —, mußte eine zweite Lieferung für die letzten 20 Gefäße bestellt werden. Die zweite Lieferung enthielt dieselbe Menge CaO wie die erste, aber ein wenig mehr P_2O_5, 0,127% auf trockenen Sand gerechnet. Um die beiden Sorten Sand miteinander zu vergleichen, wurde von der zweiten Sandsorte noch eine weitere Reihe von Versuchen in Gang gesetzt:

2 Gefäße ohne besonderen P_2O_5 Dünger.
3 Gefäße mit 1 g P_2O_5 als $CaH_4(PO_4)_2$
3 „ „ „ „ „ „ „ $Ca_3(PO_4)_2$ von Kahlbaum.

Alle die oben genannten 8 Gefäße erhielten K_2O nur zu Beginn der Versuche in Form von $K_2SO_4 + KCl$ (Kalireinsalze).

Die Samenkörner, 24 in jedem Gefäß, wurden am 23. und 24. Mai gesteckt. Nachdem die Pflanzen sich bis zur gewünschten Größe entwickelt hatte, wurde ihre Anzahl am 7. und 8. Juni in jedem Gefäß auf 12 reduziert, indem die überzähligen Pflanzen abgeschnitten und liegen gelassen wurden, damit sie in den Gefässen, zu denen sie gehörten, in Zersetzung übergingen. Alle Gefäße wurden wöchentlich zweimal gewogen und aufs Gewicht von 28 kg durch Zusatz des fehlenden Wassers gebracht. Nur einige vorbildliche Gefäße wurden täglich gewogen und der durchschnittliche Verlust an Wassergehalt wurde für das tägliche Begießen aller als maßgebend angenommen.

Um dem Sande die nötige Menge an Bakterien zuzuführen, die die Pflanzen fähig machen, Wurzelknöllchen zu bilden und N zu assimilieren, wurden alle Gefäße am 19. Juni mit einem Bodenextrakt in einer 5 g des Bodens entsprechenden Menge für jedes Gefäß von einem Schlage des landwirtschaftlichen Versuchsfeldes, auf dem Pferdebohnen angebaut gewesen waren, geimpft. Die erste Ernte litt ein

wenig durch einen Angriff der Blattlaus. Die Ausbreitung der Schädigung wurde soviel wie möglich durch wiederholtes Bepinseln der Pflanzen mit einem Gemisch von Alkohol und Wasser eingedämmt.

Von Anfang an zeigten alle Pflanzen eine gesunde grüne Farbe, ein Beweis dafür, daß sie nicht Mangel an Stickstoff litten. Am 5. Juli begannen die Pflanzen zu blühen, und die erste Ernte wurde am 19. u. 20. Juli eingebracht; natürlich durfte man die Pflanzen den Samen nicht bilden lassen, da eine zweite Aussaat stattfinden sollte. Auch fallen beim Abblühen der Pferdebohnen meist nicht ganz geringe Mengen von Blütenteilen ab, da bei weitem nicht jede Blüte Früchte entwickelt. Endlich schien die Ernte nützlich, um den Blattlausbefall nicht etwa größere, den Versuch schädigende Ausbreitung gewinnen zu lassen.

Nach der ersten Ernte wurde der Sand in jedem Gefäß ordentlich durchgearbeitet, und die Wurzeln wurden tief genug vergraben, um ihre rasche Zersetzung zu beschleunigen. Die Wurzeln zeigten nur einen ziemlich dürftigen Ansatz von Knöllchen.

24 Samenkörner wurden abermals am 28. Juli gesteckt. und die Pflanzen am 14. und 15. August auf 12 reduziert. Die zweite Ernte hatte nur noch recht wenig unter der Blattlaus zu leiden. Schon von Anfang an waren einige Gefäße und zwar diejenigen, welche eine Kochsalzdüngung erhalten hatten, sehr im Wachstum hinter den Anderen zurück, wie aus der Zusammenstellung in der Anlage erhellt.

Auch die Blüte war nicht überall gleichmäßig wie bei der ersten Aussaat, sondern trat bei der Kochsalzreihe am frühesten auf. Die zweite Ernte wurde am 4. und 5. Oktober geschnitten, die Wurzeln wurden herausgenommen, ihre Untersuchung ergab eine im allgemeinen gute Entwickelung von Knöllchen.

Die geernteten Pflanzen wurden getrocknet und auf die übliche Weise für die Analyse vorbereitet. Jede Ernte und der Ertrag jedes Gefäßes ist für sich analysiert worden.

Die Bestimmung des Gehalts an P_2O_5 in den einzelnen Ernten wurde nach der Methode von Neubauer-Lorenz [1]) ausgeführt. Die einzelnen Ergebnisse der Analyse sind in den Tabellen 1 bis 8 angegeben.

Die Grundlage für die Vergleiche bei unserem Versuch.

Ein flüchtiger Überblick über die Trockenernten wie über die Phosphorsäureernten des Versuchs bei erster wie zweiter Ernte ergibt bereits, daß es nicht ganz einfach sein wird, die erforderlichen Erklärungen und Darlegungen zu geben, die uns schließlich zu einwandfreien Schlüssen führen sollen.

Zunächst handelt es sich darum, klarzustellen, ob die als Grundlage anzusehende Reihe, die nur eine kleine Phosphorsäuregabe in Gestalt von 0,25 g P_2O_5 als K_3PO_4 erhalten hat, auch zur Unterlage für Vergleiche dienen kann.

Eine Zusammenstellung der Erntemengen an trockener Masse bei getrennter Gabe von Kalireinsalzen enthüllt für den ersten Pferdebohnenwuchs die merkwürdige Tatsache, daß — abgesehen von einer Ausnahme, der Reihe mit $CaH_4(PO_4)_2$, — die größte Erntemenge in dem Fall erzielt wurde, der ohne besondere Zugabe eines Phosphorsäuredüngers verblieb:

Düngung mit Phosphorsäure	bei getrennten Gaben von Kalireinsalz
I. nur 0,25 g P_2O_5 als Grunddüng.	34,15 ± 0,40 g Trockenmasse
II. desgl., und 1 g P_2O_5 als $CaH_4(PO_4)_2$	37,02 ± 1,78 g Trockenmasse
III. desgl., und 1 g P_2O_5 als Knochenmehl . . .	26,85 ± 1,08 g Trockenmasse
IV. desgl., und 1 g P_2O_5 als Thomasmehl	30,56 ± 0,62 g Trockenmasse
V. desgl., und 1 g P_2O_5 als $Ca_3(PO_4)_2$ von Kahlbaum	27,24 ± 1,97 g Trockenmasse

[1]) Zeitschr. f. anal. Chemie Bd. 51, 1912, S. 161—175.

VI. desgl., und desgl., geglüht . . . . . 31,92 ± 1,23 g Trockenmasse

VII. desgl., und 1 g P_2O_5 als $Ca_3(PO_4)_2$ selbst hergest., frisch u. feucht 25,50 ± 1,11 g Trockenmasse

VIII. desgl., und desgl., bei 100° getrocknet . . . 32,51 ± 1,66 g Trockenmasse

VIII nach Abzug des Mehrertrages wegen höheren Phosphorsäuregehalts des neuen Sandes [1]) 29,00 g Trockenmasse

Können wir diese Erscheinung erklären?

Zunächst wird es sich darum handeln, inwiefern die Mindererträge sich durch die Berechnung der ihnen anhaftenden, wahrscheinlichen Schwankungen als beachtenswert erweisen lassen. Es zeigt die Gabe von 1 g P_2O_5 als Zulage gegenüber der Reihe I

bei Reihe II

einen Mehrertrag von 2,87 ± 1,82 g Trockenmasse

bei Reihe III

einen Minderertrag von 7,30 ± 1,15 g Trockenmasse

bei Reihe IV

einen Minderertrag von 3,59 ± 0,74 g Trockenmasse

bei Reihe V

einen Minderertrag von 6,91 ± 2,01 g Trockenmasse

bei Reihe VI

einen Minderertrag von 2,23 ± 1,29 g Trockenmasse

bei Reihe VII

einen Minderertrag von 8,65 ± 1,18 g Trockenmasse

bei Reihe VIII

einen Minderertrag von 5,05 ± 1,66 g Trockenmasse

Somit ist der Minderertrag wirklich bei Reihe III, IV und VII ein zweifelloser, da er über die vierfache wahrscheinliche Schwankung hinausgeht; bei Reihe V wie VIII

[1]) Berechnet nach Tabellen 1, 2 und 5, aus dem Durchschnitt des Mehrertrages des Sandes 2.

dürfte er auch noch durchaus wahrscheinlich sein, da er bei V über die dreifache Schwankung beträchtlich hinausliegt, und auch für VIII, wo sich seiner genauen Berechnung einige Hindernisse in den Weg stellen, noch ein durchaus nennenswerter ist, falls man dem höheren Phosphorsäuregehalt des hier benutzten Sandes ausreichend Rechnung zu tragen sucht.

Nur der Mehrertrag bei Reihe II und der Minderertrag bei VI erscheinen unsicher, dürften indessen, wie wir später sehen werden, auch wohl als richtig anzusehen sein.

An der Tatsache der soeben gekennzeichneten Erscheinung ist sonach nicht wohl zu zweifeln, es wird sich um ihre Erklärung handeln.

Eigentlich sollte man bei dem hohen Gehalt des benutzten Sandes an kohlensaurem Kalk annehmen, daß die als ein gewisser Ausgleich allen Gefäßen verabfolgte Gabe wasserlöslicher Phosphorsäure in den sämtlichen, mit Kalireinsalzen in getrennter Gabe versehenen Reihen nur schwach gewirkt haben dürfte, und daß dann die hinzugefügte Düngung mit 1 g Phosphorsäure in verschiedener Form je nach der benutzten Substanz teils garnicht, teils nur wenig zur Wirkung gekommen wäre. Dies war nicht der Fall, wie man ohne weiteres sieht.

Vielleicht ist eine Deutung auf folgendem Wege angängig:

Der kohlensaure Kalk des benutzten Sandes kann nicht gerade leicht löslich gewesen sein, wie bereits daraus erhellt, daß der Sand aus der Leine entnommen ist (bei Alfeld), sonach lange Zeit der lösenden Wirkung des Wassers ausgesetzt war. Es ist daher nicht gesagt, daß er bereits eine dem vorhandenen Gehalt des Bodenwassers an Kohlensäure entsprechende Sättigung der Bodenlösung mit Kalziumbikarbonat herbeizuführen vermochte, vielmehr muß man annehmen, daß die Lösung des kohlensauren Kalkes zum wenigsten nicht rasch einer Steigerung des Kohlensäuregehalts folgen konnte.

So konnte trotz des außerordentlich hohen Kalkgehalts unseres Sandes doch die als Grunddüngung verabfolgte Gabe

von 0,25 g P_2O_5 in Form von wasserlöslichem, phosphorsaurem Kali noch eine ganz leidliche Ausnutzung finden; zusammen mit der von dem Sande gelieferten, wahrscheinlich recht geringen Phosphorsäuremenge für eine Ernte genug, um 34,15 g Pflanzentrockenmasse bei getrennter Kalireinsalzgabe und der angegebenen Grunddüngung zu erzeugen.

Anders wurde es aber, sobald die von uns gewählten Phosphorsäuredünger gereicht waren, mit Ausnahme natürlich von Reihe II, die auch hier eine Gabe wasserlöslichen, phosphorsauren Kalk erhielt.

Das Knochenmehl enthielt 31,3 % CaO, wovon auf das 1 g P_2O_5 ungefähr 1,19 g CaO kamen, sodaß noch etwa 0,30 g CaO als $CaCO_3$, gleich 0,54 g $CaCO_3$ für das Gefäß an voraussichtlich verhältnismäßig leicht löslichem kohlensaurem Kalk vorhanden waren.

Das Thomasmehl enthielt 48,4 % CaO, hiervon sind auf das 1 g P_2O_5 annähernd [1]) 1,59 g CaO zu rechnen, wovon freilich rund 0,40 g noch basische Eigenschaften besaßen. 0,93 g CaO waren weiter zum Teil als CaO, zum Teil als $CaCO_3$ im Thomasmehl vorhanden.

Die verschiedenen Trikalziumphosphate sind leider sämtlich nicht auf Kalkgehalt untersucht worden, da sich zu Beginn des Versuches nicht ermessen liess, daß dies wichtig werden konnte. Indessen liegt eine Mitteilung von Th. Schlösing d. Ä. vor, nach der bei der gewöhnlichen Herstellung des Trikalziumphosphats das Auswaschen der aus der Fällung herrührenden fremden Verbindungen sehr schwierig ist [2]), und ebenso gibt Sackur an, daß „die Darstellung eines Körpers, der genau die Zusammensetzung $Ca_3(PO_4)_2$ besitzt, sehr schwierig ist, weil gewöhnlich basische oder saure Verbindungen mitgerissen werden“ [3]).

Wir werden hiernach, wo zur Herstellung das Ver-

---

[1]) Unter der Annahme, vgl. R. Abegg's Handb. d. anorg. Chemie, II, 2, 152, Sackur, Kalzium, daß die Phosphorsäure im Thomasmehl als basisches Salz des Trikalziumphosphats, $Ca_3(PO_4)_2 + CaO$, enthalten ist.

[2]) Th. Schlösing d. Ä., Comptes rend., 131, 150 (1900).

[3]) Sackur, a. a. O. 152.

fahren von Warington[1]) zur Anwendung kam, bei dem in ziemlich stark alkalischer Lösung gearbeitet wird, mit gewissem Recht annehmen dürfen, daß das frische und noch feuchte Trikalziumphosphat, das in Menge von 43,5 g gallertartiger Masse verwendet wurde, noch recht merkbare Mengen basischer Stoffe einschloß. So erklärt sich auch, daß auch Reihe VII, ebenso wie Knochenmehl und Thomasmehl durchaus ungünstig auf die Löslichkeit der als Grunddüngung verabfolgten, wasserlöslichen Phosphorsäure des Trikaliumphosphats wirkte. — Damit ist die erforderliche Erklärung für die auffallenden Erscheinungen, die oben beanstandet werden mußten, wenigstens in gewissem Umfange gefunden.

Auch die ähnliche, wenngleich durch die Größe der wahrscheinlichen Schwankung nicht sicher zu beurteilende Erscheinung bei VIII, das nach Warington hergestelltes, aber bei 100° getrocknetes Trikalziumphosphat erhalten hat, ist entsprechend zu deuten.

Endlich bleibt das Trikalziumphosphat von Kahlbaum. Da es voraussichtlich durch Behandeln einer Kalziumchloridlösung mit Natriumphosphat und Ammoniak entstanden sein wird, so dürfte es gleichfalls adsorbiertes Ätznatron und Ätzkalk enthalten, wenn auch gewiß nur in mäßigem Umfange, daneben etwa schwache Spuren von Ammoniak. Eine ungünstige Wirkung auf die Löslichkeit des als Grunddüngung verabfolgten Trikalziumphosphats ist demnach gleichfalls noch unstreitig möglich. Über die Menge an Kalk, die in diesem Salze nicht an Phosphorsäure gebunden vorliegt, ergibt die Analyse: $P_2O_5 = 42{,}0\ \%$

$CaO = 51{,}24\ \%$

an P_2O_5 nicht gebundenen

$CaO = 1{,}44\ \%$, oder 0,34 g CaO in 1 g P_2O_5 Düngergabe.

---

[1]) Es werden 110 g $CaCl_2$ in 1 l H_2O gelöst und langsam in eine Lösung von 250 g $Na_2HPO_4 \cdot 12\ H_2O$ in 5 l H_2O gegossen, die noch 25 g $NH_4 \cdot OH$ enthält; es folgt Auswaschen, bis das Waschwasser chlorfrei ist, Abfiltrieren und feuchtes Aufbewahren.

Das geglühte Trikalziumphosphat von Kahlbaum hat die Phosphorsäurewirkung der Grunddüngungsphosphorsäure nur noch unwesentlich vermindert. Dies könnte vielleicht dadurch bedingt sein, daß die ungünstig wirkenden basischen Bestandteile des Trikalziumphosphats durch das Glühen in ihrer Löslichkeit beeinträchtigt wurden, was aber wohl kaum wahrscheinlich ist. Jedenfalls stellte aber auch Rindell fest [1]), daß auch bei ihm die Löslichkeit der Phosphorsäure des Trikalziumphosphats durch Glühen erhöht wurde. Diese Tatsache bietet allerdings auch eine zweite Erklärungsmöglichkeit, die aus noch gleich zu erwähnenden Gründen etwas größere Wahrscheinlichkeit bietet: Es könnte einfach die Phosphorsäure unserer Phosphorsäuregrunddüngung bei dem geglühten Trikalziumphosphat in der gleichen Weise in ihrer Löslichkeit beeinträchtigt gewesen sein, wie beim ungeglühten Trikalziumphosphat, dafür aber die Löslichkeit der Phosphorsäure des geglühten Trikalziumphosphats selber sich besser gestaltet haben.

Eine Antwort hierauf und eine Ergänzung zu den soeben besprochenen Erscheinungen werden uns vielleicht die Phosphorsäuregehalte der Ernten der hier zunächst allein besprochenen Reihen geben, die ihre Kaligabe nur in getrennten Gaben von Kalireinsalz erhalten haben. Es stellt sich dabei die Ernte auf:

Reihe	Düngung mit Phosphors.	bei getrennt. Gaben v. Kalireinsalz
I	nur 0,25 g P_2O_5 als Grunddg.	130,66 ± 3,47 mg Phosphorsäure
II	desgl., und 1 g P_2O_5 als $CaH_4(PO_4)_2$ . .	157,84 ± 4,35 „ „
III	desgl., und 1 g P_2O_5 als Knochenmehl .	101,91 ± 4,06 „ „
IV	desgl., und 1 g P_2O_5 als Thomasmehl . .	138,90 ± 5,49 „ „

[1]) A. Rindell, Dissertation Helsingfors 1899.

Reihe	Düngung mit Phosphors.	bei getrennt. Gaben v. Kalireinsalz
V	desgl., und 1 g P_2O_5 als $Ca_3(PO_4)_2$ von Kahlbaum	104,47 ± 4,25 mg Phosphorsäure
VI	desgl., und desgl., geglüht	113,05 ± 3,38 „ „
VII	desgl., und 1 g P_2O_5 als $Ca_3(PO_4)_2$, selbst hergest., frisch und feucht	109,89 ± 5,52 „ „
VIII	desgl., und desgl., bei 100° getrocknet . .	118,82 ± 4,79 „ „
	VIII nach Abzug des Mehrertrages wegen höheren Phosphorgehalts des neuen Sandes	54,67 (?) „ „

Auch hier müssen zunächst, zumal die beobachteten, wahrscheinlichen Schwankungen leider nicht geringe sind, die ermittelten Mindererträge an Phosphorsäure schärfer beurteilt werden. Dabei zeigt die Gabe von 1 g P_2O_5 als Zulage gegenüber der Reihe I:

bei Reihe II	einen Mehrertrag	von 27,18 ± 5,57	mg P_2O_5
bei Reihe III	einen Minderertrag	von 28,75 ± 5,34	„ „
bei Reihe IV	einen Mehrertrag	von 8,24 ± 6,50	„ „
bei Reihe V	einen Minderertrag	von 26,19 ± 5,49	„ „
bei Reihe VI	einen Minderertrag	von 17,61 ± 4,84	„ „
bei Reihe VII	einen Minderertrag	von 20,77 ± 6,52	„ „
bei Reihe VIII	einen Minderertrag von jedenfalls mehr als	11,84 ± 5,92	„ „

Danach wäre der Mehrertrag bei Reihe II gesichert, wie ja auch wahrscheinlich ist. Der Minderertrag bei Reihe III gleichfalls, ebenso der Minderertrag bei Reihe V und nahezu auch noch bei Reihe VI. Auch bei Reihe VII geht der Minderertrag noch über die dreifache wahrscheinliche Schwankung hinaus, und ist dadurch wenigstens leidlich festgelegt, und bei Reihe VIII ist er nicht mit voller Sicherheit anzu-

geben, aber höchstwahrscheinlich groß genug, um als gesichert angesehen werden zu können; denn bereits ohne Berücksichtigung des höheren Phosphorsäuregehaltes des bei Reihe VIII verwendeten Sandes ergibt sich ein die doppelte wahrscheinliche Schwankung erreichender Minderertrag. Der einzige Wert, der als unsicher anzusehen ist, und keinerlei feste Unterlage besitzt, ist der für das Thomasmehl festgestellte Mehrertrag in Reihe IV.

Damit entsprechen die Ergebnisse der Phosphorsäureernten in durchaus erwünschter Weise den Schlüssen, die wir bereits aus den Trockenmassenernten ziehen konnten.

Der Mehrertrag bei Düngung mit wasserlöslicher Phosphorsäure ist bestätigt worden. Daß er nur sehr gering ist, wird später noch zu besprechen sein. Den oben durchgesprochenen Mindererträgen an Trockenmasse bei Reihe III, V, VII und VIII entsprechen verringerte Phosphorsäureernten, wodurch unsere Erklärungen oben an Wahrscheinlichkeit gewinnen. Bei dem geglühten Trikalziumphosphat der Reihe VI zeigt sich eine immerhin merkbare, wenn auch nicht sicher nachgewiesene Erhöhung auch der Phosphorsäureernte gegenüber der Reihe mit ungeglühtem Phophat. Nur Reihe IV bietet eine recht wenig sichere Mehrernte an Phosphorsäure, gegenüber einer einwandfrei nachgewiesenen Minderernte bei der Trockenmasse. Möglich, daß hier die größeren Phosphorsäuremengen erst im Laufe der Entwicklung, und zu einer Zeit löslich geworden sind, in der die Trockenmasse der Pflanzen nicht mehr ausreichend dadurch begünstigt werden konnte, sodaß sogenannter Luxusverbrauch eintrat.

Die unbestreitbare Tatsache, daß das Thomasmehl trotz der Vereinigung von gebranntem Kalk mit Trikalziumphosphat oder der basischen Abart der letztgenannten Verbindung ein verhältnismäßig leicht löslicher Phosphorsäuredünger, auch im normalen, nicht sauren Erdboden ist, scheint bereits darauf hinzuweisen, daß unter Umständen das Trikalziumphosphat seine sonst große Empfindlichkeit gegen die seine Lösung beeinträchtigenden Kalksalze jedenfalls in geringerem Umfange zu zeigen vermag. Vielleicht

ist es die Glühhitze, der das Thomasmehl bei seiner Entstehung so stark ausgesetzt ist, die hierfür als Ursache zu betrachten wäre; die schon oben erwähnte Beobachtung Rindell's über Erhöhung der Löslichkeit des Trikalziumphosphats durch Glühen scheint darauf hinzuweisen.

Jedenfalls müßte eigentlich gerade bei unserem Versuch das Thomasmehl die Phosphorsäuregrunddüngung am stärksten in ihrer Phosphorsäurewirkung behindert haben, da es verhältnismäßig viel CaO in die Vegetationsgefäße eingeführt hat. Tritt nun doch bei ihm eine stärkere Phosphorsäureaufnahme hervor, als hiernach anzunehmen ist, so wird dieselbe aus dem Thomasmehl selber herstammen. Und ganz entsprechende Gedankengänge werden wir für das geglühte Trikalziumphosphat anwenden müssen.

Damit wird eine einigermaßen brauchbare Erklärung der besonderen Verhältnisse in unserer als Versuchsgrundlage dienenden Reihengruppe, die Kalireinsalz in getrennten Gaben erhielt, gewonnen sein:

Wir nehmen an, daß die Phosphorsäuregrunddüngung zunächst zu einem gewissen nicht unerheblichen Anteil zur Wirkung kam, da sie als wasserlösliches Kalisalz gegeben war. Einen gewissen Zuschuß leistete dann noch der Sand mit seinem Gehalt an gewiß zum größten Teil schwerstlöslichen Phosphorsäureverbindungen.

Wurde einer der von uns benutzten Phosphorsäuredünger nicht wasserlöslicher Art hinzugegeben, so beeinträchtigte dieser, da er leichtlöslichen kohlensauren oder gebrannten Kalk, oder ähnlich wirkende basische Stoffe einführte, die Löslichkeit der Grunddüngungsphosphorsäure in gewissem Umfange. Der Ertrag an Trockenmasse wie an Phosphorsäure mußte demnach sinken; denn die schwerlöslichen Phosphate, wie Knochenmehl oder die verschiedenen Trikalziumphosphate konnten in dem an kohlensaurem Kalk verhältnismäßig reichen Bodenwasser der Vegetationsgefäße zunächst lösliche Phosphorsäure kaum abgeben. Eine Ausnahme trat nur ein, wenn der benutzte Phosphatdünger, wie das Thomasmehl, oder in geringerem Umfange das geglühte

Trikalziumphosphat an sich eine gewisse leichtere Löslichkeit seiner Phosphorsäure besaß, und daher selbst den Pflanzen, vielleicht erst gegen Ende ihrer Entwicklungszeit, noch Phosphorsäure zur Verfügung zu stellen vermochte. — Es mag vielleicht überraschen, daß bei unseren Betrachtungen die mit 5 g CaO als Gips verabfolgte Gabe von schwefelsaurem Kalk garnicht berücksichtigt wird. Indessen wird die Löslichkeit dieses Gipses durch die, in dem Bodenwasser aus der sonstigen Düngung und aus dem benutzten Sande selbst reichlich vorhandenen Salze mit sowohl dem Ca-Ion wie dem SO_4-Ion, eine derart geringe geworden sein, daß er unabhängig von der, entsprechend dem Ca-Gehalt der verabreichten Phosphate bald geringeren, bald größeren Gabe, in jedem Fall in gesättigter Lösung in dem Bodenwasser vorhanden gewesen sein wird, und so bei keiner Reihe eine Sonderwirkung zu erreichen vermochte. Es konnte demnach auf eine Berücksichtigung seiner Anwesenheit verzichtet werden.

Wir werden diese Betrachtung wohl im Gedächtnis behalten, da sie uns später für weitere Überlegungen die Grundlage wird abgeben müssen.

1. Wirkung verschiedener Kalisalzzugaben auf das Wachstum:

Vergleichen wir nun die Ernten in den Fällen, in denen die **Kalireinsalze** in verschiedenen Einzelgaben, zweitens in einer einmaligen Gabe zugeführt wurden, so sehen wir, daß bei der ersten Ernte kein merklicher Unterschied in drei von den Versuchsreihen festzustellen ist, nämlich 1. ohne Dünger, 2. mit Thomasmehl und 3. mit $Ca_3(PO_4)_2$ frisch und feucht.

Trockenmassenernte	nur Grunddüng.	Thomasmehl	$Ca_3(PO_4)_2$ frisch u. feucht
Mit Kalireins., getrennte Gabe	34,15 ± 0,40 g	30,56 ± 0,62 g	25,50 ± 1,11 g
Mit Kalireins., einmalige Gabe	33,87 ± 0,63 g	29,68 ± 0,53 g	24,98 ± 0,90 g
Unterschied zugunsten der getrennten Gaben	+0,28 g	+ 0,88 g	+ 0,52 g

Es bedarf in diesem Falle keiner Berechnung der wahrscheinlichen Schwankungen des Unterschiedes, um zu zeigen, daß dieselben schon einfach genommen die Summe des Unterschiedes in sich schließen, denselben also ganz bedeutungslos erscheinen lassen.

Drei andere Reihen dagegen zeigen, daß bei der ersten Ernte die einmalige Zugabe von Kalidünger günstiger gewirkt hat, als die Einzelgaben. Es sind dies die Reihe 1. mit Knochenmehl, 2. mit $Ca_3(PO_4)_2$ von Kahlbaum und 3. die entsprechende Reihe mit dem geglühten Düngemittel.

Trockenmassenernte	Knochenmehl	$Ca_3(PO_4)_2$ Kahlb.	$Ca_3(PO_4)_2$ Kahlb., geglüht
Mit Kalireins., getrennte G.	26,85 ± 1,08	27,24 ± 1,97	31,92 ± 1,23
Mit Kalireins., einmalige G.	31,37 ± 2,29	30,09 ± 1,67	36,10 ± 0,88
Unterschied zugunsten der einmaligen Gaben	+ 4,52 ± 2,53	+ 2,85 ± 2,58	+ 4,18 ± 2,28

Die wahrscheinlichen Schwankungen sind leider auch hier recht groß. Es mag darauf hingewiesen sein, daß vielleicht der außergewöhnlich kühle, unfreundliche Vorsommer 1916[1]), in den die Hauptvegetationszeit der Pferdebohnen dieses Versuches, erste Ernte, hineinfiel, an den Schwankungen der Gefäßernten einen Anteil hat, um so mehr, als ja von einer für Sandkulturversuch recht geringen Stickstoffgabe in der Grunddüngung (0,5 g als Kalksalpeter und sehr wenig organischen Stickstoff) abgesehen, unsere Pferdebohnen nur auf den durch die Knöllchenbakterien gesammelten Stickstoff angewiesen waren, weil wir die verschiedenen Reaktionen in den Boden gebrachter, größerer Stickstoffsalzdüngungen hatten vermeiden wollen. In diesem Zusammenhang ist wohl auch die nicht so besonders erhebliche Größe der Ernten überhaupt zu beurteilen, die sonst mit etwa 2 mal 30 Gramm Trockenmasse für's Gefäß für die Zeit vom 24. Mai bis zum 5. Oktober größer hätte sein können. —

[1]) Vergl. Ritter, Fühlings Landw.-Zeitung, 66, 124/5, (1917).

So gehen demnach die Unterschiede, welche bei den erwähnten drei Gaben von Phosphorsäuredüngern durch die einmalige Gabe an Kalireinsalz verursacht sind, nur knapp an die doppelte, wahrscheinliche Schwankung heran, sind demnach nicht ausreichend gesichert. Selbst wenn man den Durchschnitt der drei in gleicher Richtung liegenden Unterschiede nimmt, kommt man erst auf die Vermehrung der Trockenmassenernte durch die einmalige Kalireinsalzgabe von: $3{,}85 \pm 1{,}42$, die noch nicht ganz die dreifache, wahrscheinliche Schwankung erreicht.

Später wird auf diese Umstände noch näher einzugehen sein und unter Heranziehung der Phosphorsäurernten darüber entschieden werden müssen, ob es sich bei der soeben behandelten Vermehrung der Ernte tatsächlich um eine gut nachweisbare Tatsache handeln kann.

Die noch zu behandelnden Reihen, II, mit wasserlöslicher Phosphorsäure, und VIII, mit getrocknetem $Ca_3(PO_4)_2$, selbst hergestellt, zeigen folgende Werte:

Trockenmassenernte	$CaH_4(PO_4)_2$	$Ca_3(PO_4)_2$, getrocknet [1])
Mit Kalireinsalz, getrennte Gabe	$37{,}02 \pm 1{,}78$	$32{,}51 \pm 1{,}66$
Mit „ einmalige Gabe	$25{,}59 \pm 1{,}52$	$29{,}49 \pm 2{,}08$
Unterschied zugunsten der getrennten Gaben	$+11{,}43 \pm 2{,}34$	$+3{,}02 \pm 2{,}66$

Während demnach beim wasserlöslichen Phosphat der Mehrertrag ein erheblicher auf der Seite der getrennten Kalisalzgaben ist, und weit über die wahrscheinliche Schwankung hinausliegt, ist er beim getrockneten Trikalziumphosphat nur gering, und nur wenig über die einfache Schwankung hinausgelegen. Man wird ihn daher hier vernachlässigen dürfen. Dagegen ist es schwierig, die so erhebliche Einwirkung der einmaligen Gabe von Kalireinsalz beim $CaH_4(PO_4)_2$ ohne weiteres Rückgreifen auf die Phosphor-

[1]) Der Abzug für die in dem neubezogenen Sande mehr enthaltene Phosphorsäure und ihre Wirkung auf die Ernte an Trockenmasse konnte hier, wo nur innerhalb der Reihe verglichen wird, unterbleiben. Dadurch wurden die Werte für die wahrscheinliche Schwankung ohne weiteres benutzbar.

säureernten zu klären. Es ist nicht unmöglich, daß bei der bereits nach früher gegebenen Ausführungen anzunehmenden verhältnismäßigen Schwerlöslichkeit des kohlensauren Kalkes in unserem Sande zunächst die Phosphorsäure des Monokalziumphosphates nicht durch Kalk abgesättigt wurde, sondern mehr oder weniger löslich blieb, sodaß es bei einmaliger Gabe der Kalireinsalze dadurch zu einer Salzschädigung der jungen Pflanzen gekommen wäre, bis durch die Reaktion mit dem kohlensauren Kalk des benutzten Sandes eine Ausfällung des Phosphatsalzes zustande kam. Wahrscheinlich will mir diese Annahme indes nicht erscheinen. Wir werden später durch Heranziehung der Phosphorsäureerntezahlen vermutlich zu einer besseren Klärung der Sachlage gelangen.

Da getrennte Kaligaben nur während der ersten Wachstumszeit, im ganzen etwa während 5 mal 8 Tagen gegeben wurden, sollte man erwarten, daß der Unterschied, der dieser Behandlung zu verdanken ist, bei der zweiten Ernte wenigstens bis zu einem gewissen Grade hätte verschwinden sollen. Jedenfalls ist es überraschend, daß er hier noch so merklich hervortritt, denn während der ganzen Periode ihres Wachstums hatten die Pflanzen der zweiten Ernte in beiden Abteilungen, einerlei, ob die Kalireinsalze bei der ersten Ernte auf einmal oder in Abteilungen verabfolgt waren, dieselbe Menge davon zur Verfügung. Indessen weisen dennoch auch bei der zweiten Ernte noch zwei von den drei Reihen, die bei der ersten Ernte nach einmaliger Gabe der Kalireinsalze einen Mehrertrag erbrachten, denselben auch bei der zweiten Ernte auf:

Trockenmassenernte bei Ernte II	Knochenmehl	$Ca_3(PO_4)_2$ Kahlbaum
Mit Kalireinsalz, getrennte Gaben	41,37 ± 2,56	32,58 ± 2,16
Mit Kalireinsalz, einmalige Gabe	43,49 ± 3,17	36,73 ± 0,48
Unterschied zugunsten der einmaligen Gabe	+ 2,12	+ 4,15

Ohne besondere Berechnung der wahrscheinlichen Schwankungen ergibt sich zwar, daß der Unterschied zum

Teil innerhalb der einfachen, zum Teil innerhalb der doppelten wahrscheinlichen Schwankung liegt. Immerhin wird die Übereinstimmung mit dem Ergebnis des ersten Ernte zu beachten sein.

Auffälliger ist dagegen ein nach gleicher Richtung liegender Unterschied für die mit Thomasphosphatmehl gedüngten Reihe, bei zweiter Ernte:

Trockenmassenernte bei Ernte II	Thomasmehl
Mit Kalireinsalz, getrennte Gaben . . .	35,60 ± 1,17
Mit Kalireinsalz, einmalige Gabe	39,60 ± 1,43
Unterschied zugunsten der einmaligen Gabe	+ 4,00 ± 1,85

Hier geht demnach die vorteilhafte Wirkung der einmaligen Gabe schon über die doppelte wahrscheinliche Schwankung hinaus.

Drei andere Reihen der zweiten Ernte weisen sonst keine ins Gewicht fallenden Unterschiede bei einmaliger, bezw. bei getrennter Gabe der Kalireinsalze auf:

Trockenmassenernte bei Ernte II	Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ geglüht	selbst hergest. $Ca_3(PO_4)_2$ frisch u. feucht	selbst hergest. $Ca_3(PO_4)_2$ getrocknet
Mit Kalireinsalz, getrennte Gaben	33,34 ± 2,13	23,60 ± 1,01	35,52 ± 0,09
Mit Kalireinsalz, einmalige Gabe	33,73 ± 0,94	22,88 ± 0,92	34,20 ± 1,77
Unterschied . .	0,39	0,72	1,32

Dagegen zeigt sich dort, wo nur Grunddüngung, bzw. auch da, wo zur wasserlöslichen Phosphorsäure der Grunddüngung noch außerdem wasserlösliche Phosphorsäure $CaH_4(PO_4)_2$ gegeben war, wieder eine anscheinend bessere Wirkung der getrennten Kalisalzgaben bei der zweiten Ernte:

Trockenmassenernte bei Ernte II	nur Grunddüngung	$CaH_4(PO_4)_2$
Mit Kalireinsalz, getrennte Gaben	33,99 ± 1,86	42,67 ± 1,55
Mit Kalireinsalz, einmalige Gabe	29,42 ± 0,74	38,26 ± 2,59
Unterschied zugunsten der getrennten Gaben	4,57 ± 2,00	4,41 ± 3,02

Hier ist der Unterschied der Größe der wahrscheinlichen Schwankungen halber noch sehr unsicher; faßt man dagegen beide Reihen zusammen, so ergibt sich infolge der Trennung der Kaligaben ein Unterschied von $4{,}49 \pm 1{,}81$, der nun bereits die doppelte wahrscheinliche Schwankung übersteigt. Es wird, wie wir später sehen werden, für unsere Betrachtungen der Einflüsse der Kalireinsalze eine nicht unerhebliche Wichtigkeit dem Verhalten der wasserlöslichen Phosphorsäuredünger einerseits, der schwerlöslichen Phosphorsäuredünger andererseits beizumessen sein. Daher ist hier auf die verschiedenen, damit zusammenhängenden Ergebnisse der Trockenernten aufmerksam gemacht worden. Eingehend werden diese Verhältnisse erst mit einer Würdigung der Phosphorsäureernten zusammen bewertet werden können.

Wir gehen nun zum Vergleich der Wirkungen der Kalireinsalze mit denen der **Kalirohsalze** über.

Trockenmassenernte bei Ernte I	nur Grunddg.	$CaH_4(PO_4)_2$	Knochenmehl
Kalireins., eine Gabe	$33{,}87 \pm 0{,}63$	$25{,}59 \pm 1{,}52$	$31{,}37 \pm 2{,}29$
Kalirohs., eine Gabe	$35{,}30 \pm 1{,}24$	$27{,}74 \pm 0{,}94$	$28{,}17 \pm 0{,}72$
Durch das Rohsalz	$+1{,}43 \pm 1{,}39$	$+2{,}15 \pm 1{,}79$	$-3{,}20 \pm 2{,}40$

Trockenmassenernte bei Ernte I	Thomasmehl	Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ gegl.
Kalireins., eine Gabe	$29{,}68 \pm 0{,}53$	$30{,}09 \pm 1{,}67$	$36{,}10 \pm 0{,}88$
Kalirohs., eine Gabe	$29{,}95 \pm 1{,}13$	$28{,}99 + 0{,}82$	$28{,}31 \pm 0{,}59$
Durch das Rohsalz	$+0{,}27 \pm 1{,}25$	$-1{,}10 \pm 1{,}86$	$-7{,}79 \pm 1{,}06$

Trockenmassenernte bei Ernte I	selbsthergest. $Ca_3(PO_4)_2$ frisch u. feucht	selbsthergest. $Ca_3(PO_4)_2$ getr. [1])
Kalireins., eine Gabe	$24{,}98 \pm 0{,}90$	$29{,}49 \pm 2{,}08$
Kalirohs., eine Gabe	$23{,}76 + 1{,}10$	$34{,}34 + 1{,}08$
Durch das Rohsalz	$-1{,}22 + 1{,}42$	$+4{,}85 + 2{,}34$

[1]) Da auch hier wieder nur ein Vergleich innerhalb der Reihe in Frage kommt, kann die Berücksichtigung des Unterschiedes im Phosphorsäuregehalt des benutzten Sandes gegenüber den anderen Reihen unterbleiben.

Zumeist ist die Wirkung beim Reinsalz wie bei Rohsalz die gleiche, der Unterschied liegt derartig nahe an dem einfachen wahrscheinlichen Fehler, bzw. noch von ihm umschlossen, daß man ihm keinerlei Bedeutung beimessen darf. Das gilt für alle Reihen, außer der mit Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ geglüht, die einen zweifellosen Minderertrag durch das Rohsalz ergab, und der mit selbst hergestelltem, getrocknetem $Ca_3(PO_4)_2$, bei der ein die doppelte, wahrscheinliche Schwankung überschreitender Mehrertrag infolge der Rohsalzgabe auftrat.

Die zweite Ernte weist größere Unterschiede auf:

Trockenmassenernte bei Ernte II	nur Grunddg.	$CaH_4(PO_4)_2$	Knochenmehl
Kalireins., eine G.	29,42 ± 0,74	38,36 ± 2,59	43,49 ± 3,17
Kalirohs., eine G.	22,58 ± 2,01	38,47 ± 0,76	28,18 ± 0,86
Durch das Rohs.	− 6,84 ± 2,14	+ 0,11 ± 2,70	− 15,31 ± 3,29

Trockenmassenernte b. Ernte II	Thomasmehl	Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ gegl.
Kalireins., eine G.	39,60 ± 1,43	36,73 ± 0,48	33,73 ± 0,94
Kalirohs., eine G.	26,93 ± 0,96	32,02 ± 1,31	21,63 ± 1,54
Durch d. Rohs.	− 12,67 ± 1,72	− 4,71 ± 1,40	− 12,10 ± 1,80

Trockenmassernte bei Ernte II	selbst hergest. $Ca_3(PO_4)_2$ frisch u. feucht	selbst hergest.[1]) $Ca_3(PO_4)_2$ getr.
Kalireinsalz, eine Gabe . . .	22,88 ± 0,92	34,20 ± 1,77
Kalirohsalz, eine Gabe . . .	20,46 ± 1,86	33,38 ± 1,10
Durch das Rohsalz	− 2,42 ± 2,08	− 0,82 ± 2,08

Mit Ausnahme der mit einer größeren Gabe von wasserlöslicher Phosphorsäure versehenen Reihe II, bei der sich kein Unterschied zwischen Roh- und Reinsalz findet, ist überall durch die Rohsalzgabe bei der zweiten Ernte ein Minderertrag aufgetreten. Unbedeutend, und von der einfachen, wahrscheinlichen Schwankung umschlossen, oder sie nur wenig überschreitend, ist er bei den beiden letzten Reihen, dagegen übertrifft er sonst die dreifache, bei Knochenmehl, Thomasmehl und Kahlbaums geglühtem Trikalziumphosphat sogar die vierfache wahrscheinliche Schwankung.

[1]) Siehe Anmerkung auf Seite 27.

Auch wenn man beide Ernten zueinander in Beziehung setzt, ergeben sich mit gewisser Annäherung übereinstimmende Ergebnisse. Deutlich scheint sich die Tatsache herauszuheben, daß Reihe II mit 1 g wasserlöslicher Phosphorsäure durch das Rohsalz nicht benachteiligt wurde. Weiterhin weisen für beide Ernten die mit selbsthergestelltem Trikalziumphosphat versehenen Reihen keine mehr ins Gewicht fallende Beeinflussung durch das Rohsalz auf. Das geglühte Trikalziumphosphat von Kahlbaum ist dagegen jedesmal deutlich und empfindlich durch die Verwendung des Rohsalzes geschädigt worden. In den übrigen Reihen zeigt sich endlich eine erst bei der zweiten Ernte deutlich auftretende Schädigung durch das Kalirohsalz.

Die Verhältnisse werden an Deutlichkeit noch gewinnen können, wenn wir die Summe beider Ernten an Trockenmasse in Vergleich stellen:

Es ergaben im Mittel in der Summe beider Ernten:

	nur Grunddg.	$CaH_4(PO_4)_2$	Knochenmehl
Mit Kalireinsalz	63,29 ± 0,97	63,85 ± 3,00	74,86 ± 3,92
Mit Kalirohsalz	57,88 ± 2,36	66,21 ± 1,21	56,35 ± 1,12
Durch Rohsalz:	− 5,41 ± 2,55	+ 2,36 ± 3,24	− 18,51 ± 4,07

	Thomasmehl	$Ca_3(PO_4)_2$	Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ gegl.
Mit Kalireinsalz	69,28 ± 1,53	66,82 ± 1,74	69,83 ± 1,29
Mit Kalirohsalz	56,88 ± 1,48	61,01 ± 1,55	49,94 ± 1,65
Durch Rohsalz:	− 12,40 + 2,12	− 5,81 ± 2,33	− 19,89 + 2,09

	selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$ frisch u. feucht	$Ca_3(PO_4)_2$ getr. [1])
Mit Kalireinsalz	47,86 ± 1,29	63,69 ± 2,73
Mit Kalirohsalz	44,22 ± 2,16	67,72 ± 1,54
Durch Rohsalz	− 3,64 ± 2,52	+ 4,03 ± 3,14

[1]) Auch hier konnte wieder die Berücksichtigung des höheren Phosphorsäuregehalts und seiner Folgen für die Reihe VIII unterbleiben, da es sich nur um Vergleiche innerhalb derselben Reihe handelt. Man darf natürlich aber nicht die Erntesumme dieser Reihe VIII mit einer der anderen Reihen vergleichen.

Auch bei dieser Vergleichsbetrachtung erweisen sich die Reihen II mit wasserlöslicher Phosphorsäure, und VIII mit selbst hergestelltem, getrocknetem Trikalziumphosphat als nicht durch die Rohsalzverwendung beeinträchtigt. Bei I, mit Grunddüngung, V, Kahlbaums Trikalziumphosphat, und VII, beim selbst hergestellten, frischen und feuchten Trikalziumphosphat geht der durch das Rohsalz bedingte Minderertrag bereits über die doppelte wahrscheinliche Schwankung hinaus, sodaß ihm eine gewisse, freilich nur äußerst begrenzte und schwache Glaubwürdigkeit zugesprochen werden kann. Die Reihen III, IV und VI, Knochenmehl, Thomasmehl und Kahlbaums geglühtes Trikalziumphosphat dagegen sind in ihrem Minderertrage durch Rohsalzverwendung zweifellos festgelegt.

Über Einzelheiten dieser Unterschiede wird indes auch hier wieder erst nach Besprechung der Phosphorsäureernten zu verhandeln sein, und namentlich dann auch auf die Frage der Ursachen des teilweise wechselnden Verhaltens der verschiedenen Reihen, und der Schädlichkeit der Rohsalzanwendung einzugehen sein.

Nun Einiges über die **Kochsalzdüngung,** die neben den Rohsalzen angewendet wurde: Es sei darauf hingewiesen, daß das verwendete Rohsalz immerhin nur das 30% Kalidüngesalz des Handels darstellte, somit noch eine ganz leidliche Reinheit besaß. Um bei unseren Versuchen auch die Anwendung der niedrigwertigen Kalidüngesalze, wie Karnallit und die niedrigprozentigen, sogenannten Kainitsorten zu berücksichtigen, wurde neben dem 30% Kalirohsalz die oben geschilderte Kochsalzdüngung verabfolgt. Wir vergleichen ihren Erfolg zunächst mit dem einer einmal gegebenen Kalireinsalzdüngung:

Trockenmassenernte, erste Ernte.	nur Grunddg.	$CaH_4(PO_4)_2$
Mit Kalireinsalz, einmalige Gabe	33,87 + 0,63	25,59 ± 1,52
Mit Kalirohsalz und Kochsalz	30,44 + 0,57	28,67 ± 1,07
Durch Rohsalz und Kochsalz:	− 3,43 ± 0,85	+ 3,08 ± 1,86

Trockenmassenernte, erste Ernte	Knochenmehl	Thomasmehl
Mit Kalireinsalz, einmalige Gabe	31,37 ± 2,29	29,68 ± 0,53
Mit Kalirohsalz und Kochsalz	23,56 ± 0,88	24,74 ± 0,39
Durch Rohsalz und Kochsalz:	− 7,81 ± 2,61	− 4,94 ± 0,66

Trockenmassenernte, erste Ernte	Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ gegl.
Mit Kalireinsalz, einmalige Gabe	30,09 ± 1,67	36,10 ± 0,88
Mit Kalirohsalz und Kochsalz	31,28 ± 1,07	26,09 ± 0,72
Durch Rohsalz und Kochsalz:	+ 1,19 ± 1,98	− 10,01 ± 1,14

Trockenmassenernte, erste Ernte	Selbst hergest. $Ca_3(PO_4)_2$ frisch u. feucht	getrocknet
Mit Kalireinsalz, einmalige Gabe	24,98 + 0,90	29,49 ± 2,08
Mit Kalirohsalz und Kochsalz	20,00 (± 1,76)[1])	30,12 ± 1,07
Durch Rohsalz und Kochsalz:	− 4,98 ± 1,98	+ 0,63 ± 2,34

Das Ergebnis klingt auffallend an die Wirkung der Rohsalzgaben für die erste Ernte gegenüber der Reinsalzdüngung an. Wie bei diesen, so zeigt sich hier bei Reihe II, mit wasserlöslicher Phosphorsäure, eine günstige Wirkung der Rohsalz- und Kochsalzgabe, freilich durchaus unsicher, aber immerhin deutlich genug, um den Gedanken an eine Schädigung jedenfalls im wesentlichen auszuschließen. Und ebenso, wie bei der Rohsalzgabe allein das selbst hergestellte, aber getrocknete Trikalziumphosphat nicht benachteiligt worden war, so ist dies auch bei der Hinzufügung von Kochsalz so geblieben. Auch andere Ähnlichkeiten lassen sich noch auffinden. Der zweifelhaften Schädigung durch selbsthergestelltes frisches und feuchtes Trikalziumphosphat in Reihe VII entspricht bei Vereinigung von Kochsalz mit Rohsalz auch hier eine zweifelhafte Schädigung, die freilich noch etwas deutlicher geworden ist; sie hat scheinbar sogar bereits die Höhe der dreifachen wahrscheinlichen Schwankung nahezu erreicht, wenn man nicht beachtet, daß

[1]) Hier ist ebenso wie Seite 14 wegen des höheren Phosphorsäuregehalts der neuen Sandart 4,41 g entsprechend dem Mittel der Ernten der Vergleichsversuche mit dem neuen Sand abgezogen worden. Die angegebene wahrscheinliche Schwankung ist daher ungenau.

hier die Schwankung der einen Zahl nicht gut zuverlässig ermittelt werden konnte, und jedenfalls, wenn man die vorhandenen Unterlagen heranzöge, noch größer sein würde. Reihe V, Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$, die auch bei Rohsalz allein nur eine durchaus zweifelhafte Benachteiligung aufwies, zeigt bei Zufügung von Kochsalz eine ebenso zweifelhafte Förderung, also voraussichtlich Mangel jeder Einwirkung. Endlich die noch nicht erwähnten Reihen, Grunddüngung, Thomasmehl, Kahlbaums Trikalziumphosphat geglüht und schließlich auch Knochenmehl ergeben sämtlich durchaus sicher, oder wenigstens recht wahrscheinlich eine hervortretende Schädigung durch das Kochsalz; Wirkungen, die wir bei der ersten Ernte mit Rohsalz zwar außer beim geglühten $Ca_3(PO_4)_2$ von Kahlbaum vermissen, die aber bei der zweiten Ernte mit Rohsalz bereits ganz deutlich hervortreten. Wenn man auch namentlich bevor die Phosphorsäureerntewerte herangezogen werden, noch nicht klar in diesen Dingen zu sehen vermag, Eins beginnt sich doch schon aus den zuerst scheinbar wirren und regellosen Ergebnissen herauszuschälen: Es bestehen gewisse Zusammenhänge in den Wirkungen der einzelnen Düngergaben an Phosphorsäure wie an Kali, und wir dürfen hoffen, noch größere Klarheit darüber zu gewinnen.

Um weiter dahin fortzuschreiten, sind zunächt die Erntewerte der zweiten Ernte in der gleichen Weise zu betrachten:

Trockenmassenernte, zweite Ernte	nur Grunddg.	$CaH_4(PO_4)_2$
Mit Kalireinsalz, einmal. Gabe	$29{,}42 \pm 0{,}74$	$38{,}36 \pm 2{,}59$
Mit Kalirohsalz und Kochsalz	$16{,}67 + 0{,}56$	$23{,}48 \pm 0{,}55$
Durch Kalirohsalz u. Kochsalz:	$-12{,}75 \pm 0{,}93$	$-14{,}88 \pm 2{,}65$

Trockenmassenernte, zweite Ernte	Knochenmehl	Thomasmehl
Mit Kalireinsalz, einmal. Gabe	$43{,}49 \pm 3{,}17$	$39{,}60 \pm 1{,}43$
Mit Kalirohsalz und Kochsalz	$19{,}76 + 0{,}83$	$21{,}48 + 1{,}46$
Durch Kalirohsalz u. Kochsalz:	$-23{,}73 \pm 3{,}28$	$-18{,}12 \pm 2{,}05$

Trockenmassenernte, zweite Ernte	Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ gegl.
Mit Kalireinsalz, einmal. Gabe	36,73 ± 0,48	33.73 ± 0,94
Mit Kalirohsalz und Kochsalz	18,54 ± 0,87	17,04 ± 1,31
Durch Kalirohsalz u. Kochsalz:	— 18,19 ± 0,99	— 16,69 ± 1,61

Trockenmassenernte, zweite Ernte	selbst hergest. Trikalziumphosphat fr. u. feucht	getrocknet
Mit Kalireinsalz, einmal. Gabe	22,88 ± 0,92	34,20 ± 1,77
Mit Kalirohsalz und Kochsalz	16,99 ± 1,43 [1])	24,78 ± 1,60
Durch Kalirohsalz u. Kochsalz:	— 5,89 ± 1,70	— 9,42 ± 2,39

Bei dieser zweiten Ernte finden wir demnach in sämtlichen Reihen eine schwere Schädigung des Ertrages an Trockenmasse. Überall fast geht er über die vierfache wahrscheinliche Schwankung hinweg. Denn wenn auch in der vorletzten Reihe dieser Wert nicht voll erreicht wird, der Ertragsrückgang müßte dann — 6,80 betragen — so zeigt sich doch die dreifache wahrscheinliche Schwankung überschritten. Außerdem ist die hier wegen des höheren Phosphorsäuregehalts des neu hinzugekommenen, phosphorsäurereicheren Sandes eigentlich durchzuführende Abzugsrechnung, die ohnehin die beiden letzten Versuchsreihen in ihrer Sicherheit beeinträchtigt, für diese zweite Ernte besonders wenig zuverlässig, da nach den vorliegenden Vergleichsuntersuchungen für diesen Sand mit höherem Phosphorsäuregehalt — und auch höherer Phosphorsäureernte — trotzdem nicht ein Mehrertrag an Trockenmasse, sondern ein Niederschlag zu berücksichtigen ist.

Was aus unseren Zahlen aber mit befremdender Schärfe hervorgeht, ist die unerwartete Tatsache, daß die Kochsalzbeigabe bei der zweiten Ernte viel schädlicher wirkte, als bei der ersten Ernte. Nun könnte man darauf verweisen, daß diese Kochsalzgabe mit 5 g NaCl bei der Bestellung, und mit weiteren 5 g NaCl am 29. Juni gegeben wurde. Es

[1]) Erntewert, wie wahrscheinlicher Fehler sind ohne Berücksichtigung der erforderlichen Herabminderung für den Vergleich gegeben, die wegen des höheren Phosphorsäuregehaltes des Sandes, der hier benutzt wurde, erforderlich wäre.

liegt somit eine Spanne von über Monatsfrist dazwischen. Indes die erste Vegetationsperiode unserer Pferdebohnen dauerte doch vom Ende Mai, wo sie aufgingen, — gesät wurde ja am 23. und 24. Mai, — bis zum 19. und 20. Juli. Somit hatte die zweite Kochsalzgabe vereint mit der ersten noch nahezu 3 Wochen Zeit, zu wirken, gerade als die Pflanzen, die mit der Blüte geerntet wurden, sich lebhaft entwickelten und auch viel Wasser verbrauchten. Wenn es sich daher um eine eigentliche Salzschädigung handeln würde, wie man natürlich zunächst anzunehmen geneigt sein wird, so wäre wirklich kaum einzusehen, weshalb bei der ersten Ernte für mehrere Reihen überhaupt kein Nachteil nachzuweisen ist, während die zweite Ernte eine so einschneidende Ernteverminderung brachte. Es wurde auch nach der zweiten Kochsalzgabe nicht etwa nun ein plötzliches Stehenbleiben der Pflanzen erster Wachstumsperiode beobachtet, sodaß hierdurch doch das Bild einer eigentlichen Salzschädigung sich ergeben hätte. — Auch hier werden die Zahlen der Phosphorsäureernten uns noch Näheres zu bringen haben.

Hier ist noch die Summe beider Ernten mit Kochsalz und Rohsalz mit dem Ergebnis der Kalireinsalzdüngung, einmalige Gabe, zu vergleichen:

Trockenmassenernte, Summe beider Ernten	nur Grunddg.	$CaH_4(PO_4)_2$
Mit Kalireinsalz, einmal. Gabe	63,29 ± 0,97	63,85 ± 3,00
Mit Kalirohsalz und Kochsalz	47,11 ± 0,79	52,15 ± 1,20
Durch Rohsalz und Kochsalz:	− 16,18 ± 1,26	− 11,70 ± 3,23
Trockenmassenernte, Summe beider Ernten	Knochen-mehl	Thomas-mehl
Mit Kalireinsalz, einmal. Gabe	74,86 ± 3,92	69,28 ± 1,53
Mit Kalirohsalz und Kochsalz	43,32 ± 1,21	46,22 ± 1,51
Durch Rohsalz und Kochsalz:	− 31,54 ± 4,10	− 23,06 ± 2,11
Trockenmassenernte, Summe beider Ernten	Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ gegl.
Mit Kalireinsalz, einmal. Gabe	66,82 ± 1,74	69,83 ± 1,29
Mit Kalirohsalz und Kochsalz	49,82 ± 1,38	43,13 ± 1,49
Durch Rohsalz und Kochsalz:	− 17,00 ± 2,22	− 26,70 ± 1,97

Trockenmassenernte, Summe beider Ernten	Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$ fr. u. feucht [1])	getrocknet
Mit Kalireinsalz, einmal. Gabe	47,86 ± 1,29	63,69 ± 2,73
Mit Kalirohsalz und Kochsalz	40,50 ± 2,27	54,90 ± 1,93
Durch Rohsalz und Kochsalz:	− 7,36 ± 2,61	− 8,79 ± 3,34

Mit Ausnahme der Reihe II mit wasserlöslicher Phosphorsäure, sowie der beiden Reihen VII und VIII mit selbst hergestelltem Trikalziumphosphat liegt demnach der beobachtete Unterschied überall weit über die vierfache wahrscheinliche Schwankung hinaus. Indessen ist auch bei Reihe VII der tatsächlich vorhandene Unterschied des anderen, für diese Reihe benutzten Sandes halber größer, als dies die Zahlen ergeben und wahrscheinlich nicht nennenswert von der vierfachen wahrscheinlichen Schwankung entfernt, wenn nicht dieser schon gleich. Es bleiben somit beim Vergleich der Reihen mit einmaliger Gabe von Kalireinsalz gegenüber den mit Kalirohsalz und Kochsalz versehenen ebenso, wie beim Vergleich gegenüber den nur mit Kalirohsalz gedüngten, nur Reihe II und VIII gewissermaßen in einer, geringere schädliche Wirkung des Kochsalzes u. s. w. anzeigenden Ausnahmestellung; nur ist diese hier schon weitaus mehr nach der Richtung einer Schädigung verschoben, als bei den Reihen mit Rohsalzgaben ohne Kochsalz.

Stellen wir endlich die Versuche mit Rohsalzgaben denen gegenüber, die dazu auch noch das Kochsalz erhielten, so wird sich die Kochsalzwirkung wahrscheinlich einigermaßen rein herausheben lassen:

Trockenmassenernte, erste Ernte:	nur Grunddg.	$CaH_4(PO_4)_2$	Knochenmehl
Kalirohsalz . .	35,30 ± 1,24	27,74 + 0,94	28,17 ± 0,72
Kalirohs. m. Kochs.	30,44 ± 0,57	28,67 ± 1,07	23,56 ± 0,88
	− 4,86 ± 1,37	+ 0,93 ± 1,42	− 4,61 ± 1,14

[1]) Der Wert müßte in Wirklichkeit des höheren Phosphorsäuregehaltes des benutzten Sandes halber niedriger veranschlagt werden, wenn man ihn mit den anderen Reihen vergleichen will. Man käme dann bei Abzug von 4,41 g auf −11,77 g ± 2,61 (?), würde jedenfalls wohl die vierfache wahrscheinliche Schwankung annähernd erreichen.

Zweite Ernte:	nur Grunddg.	$CaH_4(PO_4)_2$	Knochenmehl
Kalirohsalz . .	22,58 ± 2,01	38,47 ± 0,76	28,18 ± 0,86
Kalirohs. m. Kochs.	16,67 ± 0,56	23,48 ± 0,55	19,76 ± 0,83
	− 5,91 ± 2,09	− 14,99 ± 0,94	− 8,42 ± 1,20
Summe beider Ernten:			
Kalirohsalz . .	57,88 ± 2,36	66,21 ± 1,21	56,35 ± 1,12
Kalirohs. m. Kochs.	47,11 ± 0,79	52,15 ± 1,20	43,32 ± 1,21
	− 10,77 ± 2,49	− 14,06 ± 1,70	− 13,03 ± 1,65

Trockenmassenernte, erste Ernte:	Thomasmehl	Kahlbaums lufttr.	$Ca_3(PO_4)_2$ geglüht
Kalirohsalz . .	29,95 ± 1,13	28,99 ± 0,82	28,31 ± 0,59
Kalirohs. m. Kochs.	24,74 ± 0,39	31,28 ± 1,07	26,09 ± 0,72
	− 5,21 ± 1,19	+ 2,29 ± 1,35	− 2,22 ± 0,93
Zweite Ernte:			
Kalirohsalz . .	26,93 ± 0,96	32,02 ± 1,31	21,63 ± 1,54
Kalirohs. m. Kochs.	21,48 ± 1,46	18,54 ± 0.87	17,04 ± 1,31
	− 5,45 ± 1,75	− 13,48 ± 1,57	− 4,59 ± 2,02
Summe beider Ernten:			
Kalirohsalz . .	56,88 ± 1,48	61,01 ± 1,55	49,94 ± 1,65
Kalirohs. m. Kochs.	46,22 ± 1,51	49,82 ± 1,38	43,13 ± 1,49
	− 10,66 ± 2,11	− 11,19 ± 2,08	− 6,81 ± 2,22

Trockenmassenernte, erste Ernte:	Selbst hergestellt. $Ca_3(PO_4)_2$ fr. u. feucht [1])	getrocknet
Kalirohsalz	23,76 ± 1,10	34,34 ± 1,08
Kalirohsalz mit Kochsalz . .	20,00 ± 1,76	30,12 ± 1,07
	− 3,76 ± 2,08	− 4,22 ± 1,52
Zweite Ernte:		
Kalirohsalz	20,46 ± 1,86	33,38 ± 1,10
Kalirohsalz mit Kochsalz . .	17,57 ± 1,43	24,78 ± 1,60
	− 2,89 ± 2,35	− 8,60 ± 1,94
Summe beider Ernten:		
Kalirohsalz	44,22 ± 2,16	67,72 ± 1,54
Kalirohsalz mit Kochsalz . .	37,57 ± 2,85	54,90 ± 1,93
	− 6,65 ± 3,13	− 12,82 ± 2,47

[1]) Wieder mit den besonders ermittelten, indessen natürlich nicht ganz einwandfreien Abzügen.

Für die erste Ernte liegt die Kochsalzwirkung ungefähr zwischen drei- und vierfacher wahrscheinlicher Schwankung, ist demnach leidlich gesichert; bei einigen Reihen, so Knochenmehl, Thomasmehl geht sie über die vierfache Schwankung hinaus, bleibt dagegen beim selbst hergestellten frisch und feuchten, wie getrockneten Trikalziumphosphat, ebenso auch bei dem geglühten Präparat von Kahlbaum unterhalb der dreifachen. Ich glaube nicht, daß diesen kleinen Unterschieden eine erheblichere Bedeutung beizulegen ist. Dagegen fällt es auf, daß das wasserlösliche Phosphat der Reihe II, wie auch Kahlbaums lufttrockenes Trikalziumphosphat im Gegensatz zu allen anderen Reihen kleine, allerdings nach Maßgabe der wahrscheinlichen Schwankungen bedeutungslose Mehrerträge nach Kochsalzzugabe bei der ersten Ernte aufweisen.

Ich glaube, daß es sich hier nur um eine durch irgend welche Umstände bedingte Verzögerung der Kochsalzwirkung handelt. Denn bei der zweiten Ernte weisen gerade diese beiden Reihen besonders auffallende Schädigungen durch Kochsalz auf und holen somit den bei der ersten Ernte vermißten Minderertrag reichlich wieder ein. Auch hierfür wird die Betrachtung der Phosphorsäureernten später noch weitere Beurteilungsmöglichkeiten beibringen. Zunächst darf man wohl kurz annehmen, daß ziemlich in allen Reihen die Wirkung der Kochsalzgaben in gleicher Weise nachteilig für die Ernten sich erwies, wenn man die Summe beider Ernten in Rechnung zieht. Nur beim geglühten Trikalziumphosphat Kahlbaums Reihe VI liegt die Schädigung in diesem Falle ein wenig über die dreifache wahrscheinliche Schwankung hinaus, und ebenso erscheint sie beim selbst hergestellten Phosphat, frisch und feucht, zweifelhaft. Sonst ist sie stets durchaus gesichert, und auch bei Reihe VI wohl kaum anzuzweifeln. Es erscheint dies einigermaßen eigentümlich, da von anderer Seite [1]) Kochsalz direkt als Dünger für Pferdebohnen empfohlen wurde.

[1]) Krafft, Pflanzenbaulehre, 9. Aufl., S. 74.

2. Beeinflussung der P_2O_5-Aufnahme durch die Pferdebohne infolge wechselnder Kalisalzgaben.

Wie schon erwähnt, reichte der Sand nicht mehr zur Füllung der letzten zwanzig Gefäße aus. Die neue Sandsorte, die zu diesem Zwecke benutzt wurde, enthielt mehr P_2O_5, und die Versuche, die gleichzeitig ausgeführt wurden, um beide Sandlieferungen, die zum Füllen der Gefäße verwendet wurden, zu vergleichen, zeigen, daß die Pflanzen, die in der zweiten Sandsorte angebaut worden waren, viel mehr P_2O_5 aufgenommen haben als die in dem anderen Sand unter sonst gleichen Bedingungen gewachsenen Pflanzen. Zum Beispiel [1]) haben die Pflanzen in der Versuchsreihe I

aus der Sandprobe 1 235,05 mg
und aus der Sandprobe 2 362,73 mg

also 54% mehr aus der zweiten Probe an P_2O_5 aufgenommen. In der V. Reihe wurden

aus dem ersten Sand 253,18 mg
aus dem zweiten 330,27 mg

das sind im letzten Falle 30% mehr P_2O_5 aufgenommen; oder durchschnittlich 42% mehr in dem auch für Reihe VIII und Reihe VII, Kochsalz, verwendeten Sand.

Um folglich die Ergebnisse der Versuche, bei denen die zweite Sandprobe verwendet wurde, mit denen vergleichen zu können, bei denen die erste Sandprobe gebraucht worden war, muß die von den Pflanzen im zweiten Falle aufgenommene P_2O_5 Menge etwas herabgesetzt werden, und ist nach Maßgabe des Betrages der Ernten in Tabelle 1, 2 und 5 zu reduzieren. Nachdem diese notwendige Verbesserung einmal vorgenommen ist, kann man daran gehen, die Ergebnisse zu untersuchen und zu vergleichen, nämlich:

a) den Einfluß ein und desselben Kaliumsalzes auf verschiedene Phosphatdünger.

b) den Einfluß verschiedener Kaliumsalze auf ein und denselben Phosphatdünger. — Prüfen wir nun den von den Pflanzen während der ersten Aussaat erreichten Gehalt an P_2O_5. Wenn man die Tabelle ansieht, ist man erstaunt

[1]) Vgl. Tabelle 1 und 5 dieser Arbeit.

über die bemerkenswerte Tatsache, daß die in dem Sand einschließlich der Grunddüngung enthaltene P_2O_5-Menge genügt hat, in der Mehrzahl der Fälle den Bedarf der Ernte an P_2O_5 zu decken. Außer der P_2O_5, die als solche im Sand enthalten war, sind allerdings noch 0,25 g leicht nutzbare P_2O_5 für die Pflanzen vorhanden; denn, wie erinnerlich, wurden 0,25 g P_2O_5 in der Form von K_3PO_4 als Grunddüngung in jedes Gefäß getan, um die voraussichtlich zu erwartende Beeinflussung der Phosphorsäuredüngemittel durch den hohen Kalkgehalt des benutzten Sandes nicht so groß werden zu lassen, daß vielleicht jedes normale Wachstum ausbliebe. Höchstwahrscheinlich wurde wegen des starken $CaCO_3$-Gehalts des Sandes ein erheblicher Teil dieser P_2O_5 in Kalziumphosphate verwandelt, die sicherlich den Pflanzen leichter zugänglich waren als die im Sande selbst enthaltene P_2O_5. Nur ein sehr kleiner Teil der als besondere Düngerzugabe verabfolgten P_2O_5 der verschiedenen Phosphatdünger scheint während des Wachstums der ersten Ernte in Wirksamkeit getreten zu sein. Nur in zwei Fällen der Abteilung a, nämlich in der II. und IV. Reihe scheint P_2O_5 gewirkt zu haben. In allen anderen Fällen scheinen die Düngergaben tatsächlich die P_2O_5-Aufnahme bei den Pflanzen gehemmt zu haben. In der Abteilung bei der ersten Ernte scheinen die Versuchsreihen II, IV und VI wieder in geringem Maße durch die Düngung gefördert worden zu sein. In den Abteilungen c und d zeigt nur die zweite Reihe eine Vermehrung in der Aufnahme von P_2O_5. — Auch hier scheint der Erfolg mehrfach zugunsten der einmaligen Düngergabe zu sprechen und die Reinsalze scheinen besser zu wirken als die Rohsalze — eine Tatsache, die sich ergibt, wenn man die Wirkung verschiedener Kaliumsalze auf das Wachstum der Pflanzen vergleicht.

Betrachtet man zunächst die Ergebnisse der Phosphorsäureernten für sich und benutzt wieder als Grundlage die mit Grunddüngung versehene Ernte der Reihen mit getrennter Kalisalzgabe, so ergibt sich folgendes:

Der Mehr- oder Minderertrag durch Beigabe eines be-

sonderen Phosphorsäuredüngers gegenüber der Reihe mit bloßer Grunddüngung stellte sich in mg P_2O_5 für

Erste Ernte bei getrennter Gabe von Kalireinsalz und			Gegen Grunddüngung	Durch Phosphorsäuregabe
$CaH_4(PO_4)_2$		157,84 ± 4,35	130,66 ± 3,47	+27,18±5,57
Knochenmehl		101,91 ± 4,06	130,66 ± 3,47	−28,75±5,34
Thomasmehl		138,90 ± 5,49	130,66 ± 3,47	+ 8,24±6,49
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	luftgetrocknet	104,47 ± 4,25	130,66 ± 3,47	−26,19±5,49
	geglüht	113,05 ± 3,38	130,66 ± 3,47	−17,61±4,84
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht getrocknet	109,89 ± 5,52	130,66 ± 3,47	−20,77±6,52
		43,22±4,79[1])	130,66 ± 3,47	−87,44±5,92

Wie es bereits oben besprochen werden konnte, hat die Beifügung von 1 g Phosphorsäure als Sonderdünger nur dann einen zweifellosen Mehrertrag an Phosphorsäure herbeigeführt, wenn sie als wasserlösliches Salz in Reihe II verabfolgt worden war. In diesem Falle ist der Mehrertrag allerdings unbedingt gesichert, er liegt erheblich über die vierfache wahrscheinliche Schwankung hinaus. Beim Thomasmehl ist zwar auch noch ein Mehrertrag nachgewiesen, indessen durchaus unsicher. Sonst liegt stets ein die drei- bis vierfache wahrscheinliche Schwankung überschreitender Minderertrag vor.

Bei der zweiten Ernte sind die Verhältnisse ein wenig verändert, aber nicht erheblich.

Zweite Ernte in mg P_2O_5:

Bei getrennter Gabe von Kalireinsalz und			Gegen Grunddüngung	Durch Phosphorsäuregabe
$CaH_4(PO_4)_2$		212,74 ± 5,81	139,35 ± 9,10	+73,39±10,80
Knochenmehl		169,09 ± 8,39	139,35 ± 9,10	+29,74±12,38
Thomasmehl		191,12 ± 7,44	139,35 ± 9,10	+51,77±11,75
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	luftgetrocknet	122,20 ± 6,60	139,35 ± 9,10	−17,15±11,24
	geglüht	136,22±10,95	139,35 ± 9,10	− 3,13±14,24
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht getrocknet	96,98 ± 3,87	139,35 ± 9,10	−42,37± 9,89
		148,01±10,87[1])	139,35 ± 9,10	+ 8,66±14,18

[1]) Nach Abzug von 75,60 mg für die erste, bezw. 31,72 mg für die zweite, bzw. 107,32 mg P_2O_5 für beide Ernten wegen Mehrgehalt des Sandes an Phosphorsäure.

Überall fast ist die Wirkung der Phosphorsäuredüngung eine günstigere geworden. In den Reihen, die noch einen Minderertrag zeitigen, wie V, VI und VII, ist dieser meist mehr oder weniger unsicher, indem er nicht mehr viel über die einfache wahrscheinliche Schwankung hinausliegt und nur beim selbsthergestellten Trikalziumphosphat, frisch und feucht, der Reihe VII, haben wir es mit einem zweifellosen Minderertrag zu tun. Dagegen bietet nicht nur die Reihe mit der wasserlöslichen Phosphorsäure, sondern auch das Thomasmehl jetzt einen sicheren, und sogar ganz merklichen Mehrertrag; auch beim Knochenmehl ist der Mehrertrag, der sich im Gegensatz zur ersten Ernte jetzt hier zeigt, immerhin etwa auf der Höhe der zweieinhalbfachen wahrscheinlichen Schwankung gelegen. Die ganzen Werte bieten demnach den Anschein, als wenn durch irgend einen Umstand bei der zweiten Ernte für das Erscheinen einer Phosphorsäurewirkung günstigere Verhältnisse hätten obwalten müssen. Das ist ja auch nicht unwahrscheinlich, indem die leichter löslichen Phosphorsäuremengen der nur mit Grunddüngung versehenen Reihen gerade durch die erste Ernte soweit in Anspruch genommen worden sein dürften, daß nun bei der zweiten Ernte schon eine Phosphorsäurezugabe ihre Wirkung besser kennzeichnen konnte. Wenn wir noch die Summe beider Ernten auf den Erfolg der Phosphorsäuredüngungen prüfen, so erhalten wir die folgenden Zahlen:

Summe beider Ernten in mg P_2O_5:

Bei getrennter Gabe von Kalireinsalz und			Gegen Grunddüngung	Durch Phosphorsäuregabe
$CaH_4(PO_4)_2$		370,58 ± 7,26	270,01 ± 9,74	+100,57±12,15
Knochenmehl		271,00 ± 9,32	270,01 ± 9,74	+ 0,99±13,47
Thomasmehl		330,02 ± 9,25	270,01 ± 9,74	+60,01±13,42
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	luft-trocken	226,67 ± 7,85	270,01 ± 9,74	−43,34±12,51
	geglüht	249,27±11,46	270,01 ± 9,74	−20,74±15,04
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht	206,87 ± 6,75	270,01 ± 9,74	−63,14±11,84
	getrocknet	191,23±11,88[1])	270,01 + 9,74	−78,78±15,36

[1]) Vgl. Anmerkung von S. 40.

Hier ergibt sich somit nur in zwei Fällen, bei dem frischen und feuchten, wie dem getrockneten, selbst hergestellten Trikalziumphosphat eine zweifellose Minderaufnahme von Phosphorsäure infolge der Zugabe des 1 g Phosphorsäure. Die sonst vorhandenen Minderaufnahmen bei den beiden Kahlbaumschen Phosphaten sind beim lufttrockenen Präparat allerdings auch noch recht erheblich wahrscheinlich; hier überschreitet die Minderaufnahme die dreieinhalbfache wahrscheinliche Schwankung beinahe. Dagegen zeigt sie sich beim geglühten Trikalziumphosphat nur um weniges höher als die einfache wahrscheinliche Schwankung, sodaß sie hier keinerlei Sicherheit besitzt. Die drei Reihen, welche Mehrerträge infolge der Zugabe der Phosphorsäuredüngung bringen, weisen dieselben bei II und IV, Monokalziumphosphot und Thomasmehl, als zweifellos auf, wogegen der Mehrertrag beim Knochenmehl offenbar gänzlich bedeutungslos ist.

Die mit unseren Ableitungen für die Trockenmassenernte vereinte Besprechung dieser Werte auf den nächsten, größeren Abschnitt verschiebend, will ich zunächst nur die Phosphorsäureernten weiter behandeln; wir wenden uns zu dem Ergebnis der mit nur einmaliger Kalireinsalzgabe versehenen Ernten im Vergleich unter einander, wie mit den Kalireinsalz in verschiedenen Einzelgaben empfangenden Reihen:

Erste Ernte in mg P_2O_5:

Bei einmaliger Gabe von Kalireinsalz und			Gegen Grunddüngung	Durch Phosphorsäuregabe
$CaH_4(PO_4)_2$		126,40 ± 5,13	119,06 ± 39,3	+ 7,34±6,46
Knochenmehl		115,30 ± 6,69	119,06 ± 39,3	— 3,76±7,76
Thomasmehl		143,26 ± 5,01	119,06 ± 3,93	+24,20±6,37
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	luftgetrocknet	112,62 ± 5,60	119,06 ± 3,93	— 6,44±6,84
	geglüht	124,62 ± 1,29	119,06 ± 3,93	+ 5,56±4,14
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht getrocknet	89,78 ± 3,74	119,06 ± 3,93	—29,28±5,43
		76,98±5,26[1])	119,06 + 3,93	—42,08±6,57

[1]) Hier ist von der erzielten Phosphorsäureernte entsprechend dem Mehrgehalt des in Betracht kommenden, neu benutzten Sandes, die aus besonderen Versuchen ermittelte durchschnittliche Phosphorsäuremehrernte abgezogen worden. Ob hierbei ganz zuverlässige Werte erhalten werden, erscheint fraglich. Die wahrscheinlichen Schwankungen sind die, wie sie sich aus den Werten vor Abzug der betreffenden Phosphorsäuremehrernten ergaben.

Eine Wirkung der Phosphorsäuredüngung ist auch hier in der Mehrzahl der Fälle ausgeblieben, wie man erkennen kann. Trotzdem liegen doch die Verhältnisse hier erheblich anders als bei den mit getrennten Gaben von Kalireinsalz versehenen Reihen. Zwar Thomasmehl und wasserlöslicher phosphorsaurer Kalk zeigen uns auch hier Mehrerträge, nur erscheint diesmal der des Thomasmehles als ziemlich sicher nachgewiesen, während der für Reihe II, wasserlösliche Phosphorsäure, keine größere Wahrscheinlichkeit beanspruchen kann. Dafür fallen aber weiter alle Mindererträge durch die Düngung mit den verschiedenen Phosphaten, die bei Trennung der Kalireinsalzgaben sich recht deutlich nachweisen ließen, jetzt fort, mit Ausnahme der selbst hergestellten $Ca_3(PO_4)_2$-Salze, oder sie sind vielmehr so gering und unsicher, daß man ihnen keinerlei Bedeutung zumessen darf. Das geglühte Trikalziumphosphat Kahlbaums zeigt sogar einen ebenso geringen Mehrertrag.

Als Ursache ist nicht etwa ein wesentliches Steigen der Erträge der einzelnen mit Phosphorsäuredünger versehenen Reihen festzustellen, sondern ein Absinken des Ertrages der nur mit Grunddüngung versehenen Vergleichsreihe hier, wo die Kalireinsalzgaben auf einmal gegeben wurden. Wir finden in mg P_2O_5:

Reihe: Nur Grunddüngung	Erste Ernte	Zweite Ernte	Zusammen:
Kalireins., getr. Gabe	130,66 ± 3,47 mg	139,35 ± 9,10 mg	270,01 ± 9,74 mg
Kalireins., einm. Gabe	119,06 ± 3,93 mg	115,97 ± 5,19 mg	235,03 ± 6,51 mg
Durch getrennte Gabe	+ 11,60 + 5.24 mg	+ 23.38 + 10,48 mg	+ 34,98 + 11,72 mg

Wir entsinnen uns, daß auch bei den Ernten an Trockenmasse die Reihe „nur Grunddüngung“ infolge von Verabreichung der Kalireinsalzdüngung in einer einzigen Gabe Mindererträge aufwies, die freilich erst bei der zweiten Ernte deutlicher in Erscheinung traten, ohne allerdings gesichert zu sein. Ähnlich zeigt sich jetzt die Phosphorsäureaufnahme durch die Zusammenfassung der Kalireinsalzdüngung in eine einzige Gabe beeinträchtigt. Als Ursache für beides werden

wir wohl mit Recht, wie sich später noch genauer zeigen dürfte, die Förderung der Löslichkeit der Kalkverbindungen durch die in verstärktem Maße fremde Ionen in die Bodenlösung bringende einmalige Kalireinsalzgabe anzusehen haben.

Daß zunächst bei der einmaligen Gabe von Kalisalzen dieselben in merkbar höherer Konzentration in die Bodenlösung gelangen, ist einleuchtend; denn während bei mehrfacher Verabreichung die geringere Konzentration immer wieder mit fortschreitendem Wachstum durch die Aufnahme durch die Pflanzen herabgemindert wird, ist bei einmaliger Gabe ein wahrscheinlich erheblicher Anteil der Salzgabe zunächst noch garnicht für die Pflanze notwendig, sodaß deren Aufnahme einen viel geringeren Prozentsatz ausmacht, als bei der mehrmaligen Düngung.

Salze mit anderen Ionen wirken nun bekanntlich die Löslichkeit erhöhend, und zwar entsprechend ihrer Konzentration, wie A. Noyes bewiesen hat [1]). Es muß demnach die einmalige Kalireinsalzgabe in erhöhtem Maße die in unserer Gefäßbodenlösung vorhandenen Kalksalze in Lösung bringen, gegenüber der in verschiedenen Gaben verabreichten. Davon betroffen wird der Gips, der als Grunddüngung verabfolgt worden war, weiter ganz besonders der kohlensaure Kalk unseres Gefäßsandes (3,05% der Trockenmasse), und schließlich auch der in geringen Anteilen (0,1% der Trockenmasse bei der ersten Sandlieferung, auf Phosphorsäure berechnet) vorhandene schwerlösliche phosphorsaure Kalk des Sandes [2]). Daß der als feines Pulver verabreichte Gips und der infolge seiner geringen Zerkleinerung usw. zwar schwer lösliche, aber doch in sehr großen Mengen vorhandene kohlensaure Kalk weitaus mehr durch die Kalisalze beeinflußt werden, als das gleichfalls schwerlösliche, gewiß weitgehend vom kohlensauren Kalk eingeschlossene und dazu nur in sehr bescheidener Menge sich vorfindende Kalkphosphat des Sandes, liegt nahe. Es kommt wohl auch

[1]) Zeitschr. f. Physikalische Chemie, 6. 262, (1890).

[2]) Die Möglichkeit, daß die Phosphorsäure des Sandes auch in anderer Form vorhanden ist, erscheint gering.

noch dazu, daß mit der sich erhöhenden Konzentration der Kalziumionen in der Bodenlösung die Lösung des Trikalziumphosphats des Sandes weiter erschwert werden muß. Als Erfolg der Wirkung unserer einmaligen Kalireinsalzgabe haben wir somit wohl wesentlich Verstärkung der Löslichkeit des Gipses und des kohlensauren Kalkes in unseren Gefäßen zu erwarten. Damit selbstverständlich steigende Konzentration dieser Salze in der Bodenlösung; diese muß nun auf das in der Grunddüngung verabreichte, wasserlösliche Kaliphosphat mit seinen 250 mg P_2O_5 verstärkt fällend und lösungshindernd wirken. Der Erfolg ist eine verringerte Löslichkeit der in der Grunddüngung enthaltenen Phosphorsäuregabe, und demnach verminderte Phosphorsäureaufnahme durch die Pflanzen der nur mit Grunddüngung bei einmaliger Kalireinsalzgabe versehenen Reihen, ganz, wie wir das in den Phosphorsäureerntezahlen beobachten können, und wie sich das dann auch in der Ernte an Trockenmasse kundgibt.

Nun könnte man freilich hiergegen einwenden, daß diese Klarlegung zwar allerlei Wahrscheinlichkeitsgründe für sich anführen kann, die durch einmalige Kalireinsalzgabe hier bedingten tatsächlichen Mindererträge aber nicht sicher nachgewiesen sind, da sie die vierfache wahrscheinliche Schwankung nicht übersteigen, vielmehr selbst in der Summe beider Ernten nur knapp die dreifache wahrscheinliche Schwankung erreichen.

Abgesehen aber davon, daß auch dies bereits ein immerhin leidliches Maß der Gewißheit bietet, die Wiederholung in 1000 Fällen würde 957 mal das gleiche Ergebnis bringen, ist dazu noch folgendes anzuführen:

Wenn eine derartige Beeinträchtigung der Löslichkeit der wasserlöslichen Phosphorsäure eintritt, wie wir sie soeben für die Grunddüngungsreihe mit ihren 250 mg P_2O_5 in Form von wasserlöslichem Trikaliumphosphat angenommen haben, so wird entsprechend eine solche Hemmung, und zwar wahrscheinlich noch deutlicher, bei der Reihe II, die mit wasserlöslichem Monokalziumphosphat gedüngt ist, eintreten

müssen. Vergleichen wir demnach diese. Es ergab in mg P_2O_5:

Reihe: $CaH_4(PO_4)_2$	Erste Ernte:	Zweite Ernte:	Zusammen:
Kalireinsalz, getr. G.	157,84 ± 4,35	212,74 ± 5,81	370,58 ± 7,26
Kalir., einm. Gabe	126,40 ± 5,13	190,53 ± 12,08	316,93 ± 13,13
Durch getrennte Gabe	+ 31,44 + 6,73	+ 22,21 ± 13,40	+ 53,65 ± 15,00

Bei der ersten Ernte liegt die uns hier fesselnde Ernteminderung infolge der einmaligen Kalisalzgabe erheblich über die vierfache wahrscheinliche Schwankung hinaus. Auch in der Summe beider Ernten wird diese nahezu erreicht, während bei Ernte 2 allerdings ihre Sicherheit gering ist. Jedenfalls habe ich in der eben besprochenen Reihe II eine weitere Stütze der oben wiedergegebenen Anschauungen und darf diese unter Vorbehalt der Prüfung durch weitere, hoffentlich einmal später mögliche Versuche für einigermaßen begründet erachten.

Ich habe demnach jedenfalls ebenso wie für die Grunddüngungsreihe, so für alle anderen Reihen mit einmaliger Kalireinsalzgabe — die ja auch die in der Grunddüngung gegebenen 250 mg Phosphorsäure als Trikaliumphosphat erhalten haben — anzunehmen, daß die Phosphorsäureernten zunächst, soweit sie durch die Grunddüngungsphosphorsäure bedingt sind, infolge der einmaligen Kalireinsalzgabe erniedrigt wurden. Gegen die Verwendung der nur mit Grunddüngung versehenen Reihe zum Vergleich gegen die anderen Reihen ist demnach nichts einzuwenden, obwohl diese Reihe gegenüber der mit getrennten Kalireinsalzgaben bedachten Reihe mit bloßer Grunddüngung den oben hervorgehobenen Minderertrag an Phosphorsäure brachte. Dieser Minderertrag ist eben als natürliche Folge der Verabfolgung des Kalireinsalzes in einmaliger Gabe anzusehen. Daß er sich auch bei der Reihe II, mit wasserlöslichem Phosphorsäuredünger, zeigte, ist ja bereits besprochen worden, bedarf demnach nicht weiterer Hervorhebung. — Wir gehen zur Besprechung der zweiten Ernte über:

Zweite Ernte in mg P_2O_5:

Bei einmaliger Gabe von Kalireinsalz und			Gegen Grunddüngung	Durch Phosphorsäuregabe
$CaH_4(PO_4)_2$		190,53 ± 12,08	115,97 ± 5,19	+74,56±13,15
Knochenmehl		193,61 ± 10,79	115,97 ± 5,19	+77,64±11,97
Thomasmehl		189,00 ± 3,53	115.97 ± 5,19	+73,03±6,28
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	luft-trocken	140,56 ± 7,88	115,97 ± 5,19	+24,59±9,44
	geglüht	141,59±10,09	115,97 ± 5,19	+25,62±11,35
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht getrocknet	98,47± 5,02	115,97 ± 5,15	−17,50±7,22
		188,01± 5,72	115,97±5,19[1])	+72,04±7,72

Das bereits bei der ersten Ernte gegenüber den Reihen mit getrennter Kalireinsalzgabe zu beobachtende Ansteigen der Wirkung der Phosphorsäuredüngungen zeigt sich hier, bei der zweiten Ernte mit einmaliger Kalireinsalzgabe, noch erheblich verstärkt. Wir finden nur noch einen einzigen Fall eines Minderertrages bei Reihe VII, frisch-feuchtes, selbst hergestelltes Trikalziumphosphat. Dies Salz hat überhaupt, wie wir auch noch weiterhin sehen werden, nahezu stets besonders ungünstig abgeschnitten. Sonst haben wir bei dieser zweiten Ernte stets Mehrerträge vor uns, die zumeist völlig oder annähernd sicher gestellt erscheinen, abgesehen etwa von dem geglühten Kahlbaumschen Phosphat, das indessen auch noch in seinem Mehrertrag die doppelte wahrscheinliche Schwankung übertrifft.

Es ist dies im Zusammenhang mit den bereits gegebenen Ausführungen auch gut erklärlich: Abgesehen von der Verminderung der Phosphorsäuremengen in den Gefäßen durch die vorhergegangene, erste Ernte ist die Phosphorsäure der Grunddüngung durch die Kalksalze-lösende Wirkung der einmaligen Kalireinsalzgabe behindert, sodaß nun die Phosphorsäuredüngergaben zu besserer Wirkung gelangen. Auffallen muß indessen, daß das Knochenmehl eigentlich ganz ebenso, — in Wirklichkeit sogar noch eine Spur besser gewirkt hat, als Thomasmehl, und sogar als wasserlösliches Monokalziumphosphat. Ich werde den Gründen hierfür noch gemeinsam mit anderen Umständen nachzugehen haben.

[1]) Vgl. Anmerkung von S. 40.

Die Summe beider Ernten gibt ein nicht gar zu sehr von dem soeben behandelten Bild der zweiten Ernte abweichendes Ergebnis:

Summe beider Ernten in mg P_2O_5:

Bei einmaliger Gabe von Kalireinsalz und			gegen Grunddüngung	Durch Phosphorsäuregabe
$CaH_4(PO_4)_2$		316,93 ± 13,13	235,03 ± 6,51	+81,90 ± 14,66
Knochenmehl		308,91 ± 12,70	235,03 ± 6,51	+73,88 ± 14,27
Thosmasmehl		332,26 ± 6,13	235,03 ± 6,51	+97,23 ± 8,94
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttrocken	253,18 ± 9,67	235,03 ± 6,51	+18,15 ± 11,66
	geglüht	266,21 ± 10,15	235,03 ± 6,51	+31,18 ± 12,06
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht	188,25 ± 6,26	235,03 ± 6,51	−46,78 ± 9,03
	getrocknet	264,99 ± 10,14[1])	235,03 ± 6,51	+29,96 ± 12,05

Die Erntevermehrungen durch wasserlösliches Phosphat, Knochen- und Thomasmehl liegen über die vierfache wahrscheinliche Schwankung hinaus, ebenso die Verminderung beim selbsthergestellten, frischen und feuchten Trikalziumphosphat. Einige Wahrscheinlichkeit besitzt weiter auch noch das geglühte Trikalziumphosphat von Kahlbaum für seine Förderung der Ernte. Wir können demnach bereits jetzt als Wirkung der einmaligen Gabe von Kalireinsalz gegenüber der getrennten feststellen, daß hierdurch die schwerlöslichen Phosphate gegenüber der wasserlöslichen Phosphorsäure offenbar begünstigt werden. Eine Ausnahme macht allerdings deutlich und scharf das selbsthergestellte, frische und feuchte Trikalziumphosphat, das offenbar in annähernd der gleichen Weise ungünstig wirkt, einerlei ob das Kalireinsalz in einer oder mehrmaligen Gaben verabreicht wurde.

Deutlicher wird sich die soeben erwähnte Wirkung indes hervorheben, wenn wir die mit derselben Phosphatdüngung bedachten, nur durch die Art der Verabfolgung des Kalireinsalzes unterschiedenen Reihen miteinander vergleichen.

Daß bei der Grunddüngung ebenso wie beim wasserlöslichen Kalziumphosphat die einmalige Kalireinsalzgabe gegenüber der getrennten einen bereits ziemlich sicher nachgewiesenen Minderertrag bringt, ist oben schon festgestellt

[1]) Vgl. Anmerkung von S. 40.

worden[1]). Die schwerer löslichen Phosphorsäuredüngemittel ergeben die folgenden Werte in mg P_2O_5:

Erste Ernte:

		Einmalige Kalireinsalzgabe	Getrennte Kalireinsalzgabe	Durch einmalige Gabe
Knochenmehl		115,30 + 6,69	101,91 ± 4,06	+13,39±7,84
Thomasmehl		143,26 ± 5,01	138,90 ± 5,49	+ 4,26±7,44
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttrocken	112,62 ± 5,60	104,47 ± 4,25	+ 7,15±7,03
	geglüht	124,62 ± 1,29	113,05 ± 3,38	+11,57±3,62
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht[2])	89,78 ± 3,74	109,89 ± 5,52	−20,11±6,67
	getrocknet[2])	152,58 ± 5,26	118,82 + 4,79	+33,76±7,11

Bis auf das selbst hergestellte, frische und feuchte Trikalziumphosphat, das bei Anwendung der einmaligen Gabe von Kalireinsalz einen über die dreifache wahrscheinliche Schwankung hinausgehenden Minderertrag erbracht hat, finden wir überall bei diesen schwerer löslichen Phosphaten einen Mehrertrag nach der einmaligen Gabe von Kalireinsalzen. Allerdings ist er nur in einigen Fällen ganz oder nahezu einwandfrei erwiesen, beim geglühten Trikalziumphosphat Kahlbaum, und beim getrockneten, selbst hergestellten Trikalziumphosphat. Sonst mangelt ihm zunächst noch nahezu jede überzeugende Sicherheit. — Wir werden allerdings später noch Gründe beibringen, die geeignet sind, hier in gewissem Sinne Abhilfe zu schaffen. Zunächst seien die zweite Ernte und die Summe beider Ernten betrachtet:

Zweite Ernte in mg P_2O_5:

		Einmalige Kalireinsalzgabe	Getrennte Kalireinsalzgabe	Durch einmalige Gabe
Knochenmehl		193,61±10,79	169,09± 8,39	+24,52±13,67
Thomasmehl		189.00± 3,53	191,12± 7,44	− 2,12± 8,24
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttrocken	140,56 + 7,88	122,20+ 6,60	+18,36±10,28
	geglüht	141,59+10,09	136,22+10,95	− 5,37+14,89
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht	98,47+ 5,02	96,98± 3,87	+ 1,49+ 6,34
	getrocknet[2])	219,73± 5,72	219,73±10,87	0 ±12,28

[1]) Vgl. oben S. 43 und S. 46.

[2]) Die in Frage kommenden Werte dieser Reihen können hier anstandslos verglichen werden, da für beide Sand von der zweiten phosphorsäurehaltigeren Sorte benutzt wurde.

Für die zweite Ernte bleibt somit das bei der ersten Ernte gefällte Urteil bestehen, nur, daß an die Stelle des sicher nachgewiesenen Minderertrages beim frischen und feuchten Trikalziumphosphat jetzt auch ein durchaus unsicherer, unbedeutender Mehrertrag getreten ist. Ebenso ist aber auch der vorher leidlich bewiesene Mehrertrag des geglühten Trikalziumphosphats von Kahlbaum bei der zweiten Ernte völlig unsicher geworden. Die Summe beider Ernten wird in diesem Ergebnis kaum große Änderungen verursachen können:

Summe beider Ernten in mg P_2O_5:

		Einmalige Kalireinsalzgabe	Getrennte Kalireinsalzgabe	Durch einmalige Gabe
Knochenmehl		308,91±12,70	271,00± 9,32	+37,91±15,75
Thomasmehl		332,26± 6,13	330,02± 9,25	+ 2,24±11,10
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttrocken	253,18± 9,67	226,67± 7,85	+26,51±12,46
	geglüht	266,21±10,17	249,27±11,46	+16,94±15,32
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und[1]) feucht getrocknet[1])	188,25± 6,26	206,87± 6,75	−18,42± 9,21
		372,31± 7,77	338,55±11,88	+33,76±14,20

Wollen wir daher über die Wirkung der einmaligen Kalireinsalzgabe gegenüber der getrennten Verabfolgung dieses Düngemittels auf die Phosphorsäureaufnahme uns ein klares Bild verschaffen, so wird die bisherige Betrachtung noch ergänzt werden müssen. Zum Glück ist dies dadurch möglich, daß ich die sämtlichen, durch einmalige Gabe erzielten Mehr- oder Mindererträge der Versuchsreihen untereinander in Vergleich stelle und besonders dabei das Ergebnis der Grunddüngungsreihe und der mit wasserlöslicher Phosphorsäure versehenen den übrigen, mit schwerer löslichen Phosphaten gedüngten gegenüber halte:

Durch die einmalige Kalireinsalzgabe wurde gegenüber den getrennten Gaben erzielt in mg P_2O_5:

[1]) Vgl. Anmerkung [2]) auf S. 49.

		Erste Ernte	Zweite Ernte	Summe beider Ernten
nur Grunddg.		−11,60 ± 5,24	−23,38±10,48	−34,98±11,72
$CaH_4(PO_4)_2$		−31,44 ± 6,73	−22,21±13,40	−53,65±15,00
Knochenmehl		+13,39 ± 7,84	+24,52±13,67	+37,91±15,75
Thomasmehl		+ 4,26 ± 7,44	− 2,12± 8,24	+ 2,24±11,10
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttrocken	+ 7,15 ± 7,03	+18,36±10,28	+26,51±12,46
	geglüht	+11,57 ± 3,62	+ 5,37±14,89	+16,94±15,32
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht	−20,11 ± 6,67	+ 1,49± 6,34	−18,42± 9,21
	getrocknet	+33,76 ± 7,11	0 ±12,28	+33,76±14,20

Hieraus ergibt sich zunächst ein Mehrertrag gegenüber der nur mit Grunddüngung versehenen Reihe bei Verabfolgung der einmaligen Kalireinsalzgabe anstatt der getrennten Gaben in mg P_2O_5 für die

		Erste Ernte	Zweite Ernte	Summe beider Ernten
$CaH_4(PO_4)_2$		−19,84± 8,53	+ 1,17±17,01	−18,67±19,03
Knochenmehl		+24,99±10,33	+47,90±17,23	+72,89+20,09
Thomasmehl		+15,86±10,03	+21,26±13,33	+37,12±16,68
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttrocken	+18,75± 9,73	+41,64±14,68	+60,39±17,61
	geglüht	+23,17± 7,64	+28,75±18,21	+51,92±19,75
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht	− 8,51± 9,48	+24,87±12,25	+16,36±15,49
	getrocknet	+45,36± 9,79	+23,38±16,14	+68,74±18,87

Während jetzt in der Summe beider Ernten bei dem wasserlöslichen Phosphat immer noch ein Minderertrag besteht, der freilich noch nicht einmal die einfache wahrscheinliche Schwankung völlig erreicht, findet sich sonst ständig ein zumeist recht merkbarer Mehrertrag durch die Anwendung der einmaligen Kalireinsalzgabe. Auch die Einzelbetrachtung der beiden Ernten ergibt etwa das gleiche Ergebnis, nur mit zwei Ausnahmen: bei der ersten Ernte wies das wasserlösliche Phosphat der Reihe II eine die doppelte wahrscheinliche Schwankung überschreitende Minderleistung

auf, und das selbsthergestellte, frische und feuchte Trikalziumphosphat, das ja auch bereits vorher des öfteren Minderleistungen erbrachte, bietet eine die einfache wahrscheinliche Schwankung noch nicht ganz erreichende Ertragsherabsetzung durch die einfache Kalireinsalzgabe.

Zunächst sei auf das Verhalten des wasserlöslichen Phosphats eingegangen, das, wenn auch in seinen Zahlen nicht ausreichend gesichert, doch vielleicht eine Erklärung verlangen darf. Diese wird verhältnismäßig leicht zu geben sein: Solange wasserlösliche Phosphorsäure in der Bodenlösung eine gewisse Rolle zu spielen vermag, muß wegen der oben besprochenen, wesentlichen Förderung der Löslichkeit der Kalksalze durch die einmalige Kalireinsalzgabe ihre Wirkung merklich gegenüber den getrennten Kalireinsalzgaben erniedrigt werden. Anders wird die Sachlage, wenn, wie dies wahrscheinlich bei der zweiten Ernte fortschreitend der Fall gewesen ist, die Phosphorsäure bei dem hohen Kalkgehalt der Gefäße wesentlich in wasserunlösliches, vielleicht zum Teil nur schwer wieder für die Pflanzen aufnehmbar zu machendes Phosphat übergegangen ist. Hierbei wird nun auch die lösende Wirkung des einmalig verabreichten Kalireinsalzes auf diese mehr oder weniger schwerlöslichen Phosphate in gewissem Umfange zur Geltung kommen, die Wirkung der einmaligen Kalireinsalzgabe verschiebt sich nach der günstigen Seite hin, ohne allerdings schon beträchtlichen Umfang zu gewinnen.

Von den schwer löslichen Phosphaten wird das selbst hergestellte, frische und feuchte aus unseren Betrachtungen auszuschalten sein. Es zeigt an vielen Stellen besonderes Verhalten und direkt nachteilige Wirkungen, sowohl auf Pflanzenertrag, wie auf Phosphorsäureaufnahme, sodaß ihm noch weiter zu prüfende, besondere Eigenschaften zugeschrieben werden müssen. Die übrigen schwerer löslichen Phosphate erreichen bei der Summe beider Ernten in dem oben durchgeführten Vergleich mit der nur Grunddüngung aufweisenden Reihe zumeist die dreifache wahrscheinliche Schwankung, und gehen wohl auch noch merkbar über sie

hinaus. Nur das Thomasmehl überschreitet nur die doppelte wahrscheinliche Schwankung. Wir haben demnach einen immerhin nicht ganz geringen Grund, uns zu der Überzeugung zu bekennen, daß in der Tat die einmalige Gabe an Kalireinsalz die Löslichkeit der schwerer löslichen Phosphate gefördert hat. Theoretisch ist dies leicht erklärlich, da, wie bereits gesagt wurde, die Kalksalze durch die größere, bezw. zunächst im Überschuß in der Bodenlösung auftretende Gabe an Kalireinsalzen in erhöhtem Maße gelöst werden müssen, was naturgemäß auch von den Kalkphosphaten gilt; soweit sie eben nicht wasserlöslich waren, da diese günstige Wirkung dann für sie naturgemäß nicht in Betracht kommen kann.

Immerhin erscheint die Sicherheit der bisher gewonnenen Zahlen für eine vorteilhafte Wirkung der einmaligen Kalireinsalzgabe auf die Ernte an Phosphorsäure bei den Reihen mit schwerer löslichen Phosphaten noch nicht in voll erwünschtem Maße ausreichend. Ich habe daher, unter Ausschaltung der Reihe mit frischem und feuchtem, selbst hergestellten Trikalziumphosphat, einerseits die beiden Reihen, welche größere oder geringere Mengen von wasserlöslicher Phosphorsäure allein aufweisen, also I und II, und andererseits sämtliche anderen, mit schwer löslicher Phosphorsäure versehenen Reihen vereinigt, um auf diese Weise Durchschnittsergebnisse zu erhalten, die mit geringeren wahrscheinlichen Schwankungen behaftet sind. Es ergibt sich dann:

Durch die einmalige Kalireinsalzgabe wurde gegenüber den getrennten Gaben erzielt in mg P_2O_5:

	im Mittel der Reihen Grunddüngung und $CaH_4(PO_4)_2$	im Mittel der Reihen Knochenmehl, Thomasm., Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ lufttrock. und geglüht, wie selbsthergestelltes, getrockn. $Ca_3(PO_4)_2$
I. Ernte	$-21{,}52 \pm 4{,}27$	$+14{,}05 \pm 3{,}03$
II. Ernte	$-22{,}80 \pm 8{,}51$	$+\ 9{,}23 \pm 5{,}41$
Summe beider Ernten	$-44{,}32 \pm 9{,}52$	$+23{,}28 \pm 6{,}20$

Wir finden demnach einen zweifellosen Minderertrag in der I. Ernte, und bei der Summe der Ernten für die mit wasserlöslicher Phosphorsäure versehenen beiden Reihen; auch bei der II. Ernte hat er fast die dreifache wahrscheinliche Schwankung erreicht. Beinahe die entsprechenden Verhältnisse zeigen die mit den schwerer löslichen Phosphaten gedüngten Reihen — unter Auslassung der Reihe VII —, nur daß es sich hier um Mehrerträge als Folge der einmaligen Kalireinsalzgaben handelt. Setzen wir endlich die beiden, soeben gebildeten Gruppen miteinander in Vergleich, so zeigt sich:

Durch die einmalige Kalireinsalzgabe wurde in mg P_2O_5 gegenüber den getrennten Kalireinsalzgaben erzielt, wenn man die Reihen mit ausschließlich wasserlöslicher Phosphorsäure denen mit den schwerer löslichen Phosphaten als Grundlage und Maßstab gegenüberstellt, bei der

Ernte I	$+35{,}57 \pm 5{,}24$,	die vierf. wahrsch. Schwank. ist 20,96
Ernte II	$+32{,}03 \pm 10{,}08$,	„ „ „ „ „ 40,32
Summe beid. Ernten	$+67{,}60 \pm 11{,}36$,	„ „ „ „ „ 45,44

Hier habe ich somit einen als einwandfrei zu betrachtenden Beweis für die Förderung der Phosphorsäureernten durch die einmalige Kalireinsalzgabe gegenüber den mehrmaligen Gaben. Erste Ernte und Summe beider Ernten überschreiten die vierfache wahrscheinliche Schwankung ganz erheblich, die zweite Ernte liegt zwischen drei- und vierfacher Schwankung. Mehr wird man bei den Schwierigkeiten, welche die hier vorliegenden Versuche naturgemäß bieten, kaum verlangen können. Die Abhängigkeit der Stickstoffernährung von den immerhin individuelle Verhältnisse bedingenden Knöllchenbakterien bei meinen Versuchen, die Verwickeltheit der ganzen in Betracht kommenden Reaktionen, die auch noch durch das bei Phosphorsäuresalzen des Kalkes sich nur außerordentlich langsam einstellende Gleichgewicht zwischen Lösung und Bodenkörper[1]) beeinträchtigt werden, wahrscheinlich auch die recht ungünstige, sehr kühle und lichtarme Jahreszeit, die selbst der Sommer im Jahre 1916 bot, werden hierbei ihren Anteil haben. Ein Zeichen dafür sind die leider unerwünscht hohen wahrschein-

[1]) A. Rindell, Dissertation Helsingfors 1899.

lichen Schwankungen, welche meine Versuche ja, wie bereits auch hervorgehoben, an vielen Stellen aufweisen. —

Wir wenden uns jetzt zur Betrachtung der mit Kalirohsalz versehenen Reihen.

Erste Ernte in mg P_2O_5:

Kalirohsalzgabe und			dagegen nur Grunddüngung	durch Phosphorsäuregabe
$CaH_4(PO_4)_2$		135,70±4,20	115,87±5,40	+19,83±6,84
Knochenmehl		103,60±1,73	115,87±5,40	—12,27±5,67
Thomasmehl		117,67±6,67	115,87±5,40	+ 1,80±8,58
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttr.	108,35±4,13	115,87±5,40	— 7,52±6,80
	gegl.	109,60±6,56	115,87±5,40	— 6,27±8,50
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	fr. u. f.	91,08±3,02	115,87±5,40	—24,79±6,19
	getr.[1])	65,36±8,41	115,87±5,40	—50,51±9,99

Zweite Ernte in mg P_2O_5:

Kalirohzalzgabe und			dagegen nur Grunddüngung	durch Phosphorsäuregabe
$CaH_4(PO_4)_2$		177,97±10,88	89,66±8,48	+88,31±13,17
Knochenmehl		108,76± 1,72	89,66±8,48	+19,10± 8,65
Thomasmehl		117,85± 5,84	88,66±8,48	+28,19±10,30
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttr.	113,83± 8,51	89,66±8,48	+24,17±12,01
	gegl.	85,07± 4,86	89,66±8,48	— 4,59± 9,77
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	fr. u. f.	86,20± 4,22	89,66±8,48	— 3,46± 9,47
	getr.[1])	146,68±12,34	89,66±8,48	+57,02±14,97

Summe beider Ernten in mg P_2O_5:

Kalirohsalzgabe und			dagegen nur Grunddüngung	durch Phosphorsäuregabe
$CaH_4(PO_4)_2$		313.67±11,66	205,53±10,05	108,14±15,39
Knochenmehl		212,36± 2,44	205,53±10,05	+ 6,83±10,34
Thomasmehl		235,52± 8,87	205,53±10,05	+29,99±13,40
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttr.	222,18± 9,46	205,53±10,05	+16,65±13,80
	gegl.	194,67± 8,16	205,53±10,05	—10,86±12,95
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	fr. u. f.	177,28± 5,19	205,53±10,05	—27,25±11,31
	getr.[1])	212,04±14,93	205,53±10,05	+ 6,51±18,00

[1]) Hier sind von den erzielten Phosphorsäureernten entsprechend dem Mehrgehalt des in Betracht kommenden, neu benutzten Sandes die aus besonderen Versuchen ermittelten, durchschnittlichen Phosphorsäuremehrernten abgezogen worden. Ob hierbei ganz zuverlässige Werte erhalten werden, erscheint fraglich. Die wahrscheinlichen Schwankungen sind die, welche sich aus den Werten vor Abzug der betreffenden Phosphorsäuremehrernten ergaben.

Die erste Ernte weist wieder mit Ausnahme der leidlich sichergestellten Wirkung des wasserlöslichen, phosphorsauren Kalkes einen Mangel an Wirkung für die verwendeten Phosphorsäuredüngemittel auf. Auch die Schädigungen freilich sind zumeist nur unsicher, obwohl die Minderwirkung des Knochenmehls etwas über die doppelte wahrscheinliche Schwankung hinausgeht. Nur das selbst hergestellte, frische und feuchte Trikalziumphosphat hat hier wie bei anderen Gelegenheiten direkt und mit Sicherheit schädlich gewirkt, ebenso das getrocknete Salz. Sonst darf man wohl im ganzen sagen, daß sich das Rohsalz für die erste Ernte in seiner Wirkung wesentlich dem in einmaliger Gabe verabfolgten Reinsalz anschließt. Beide Male findet sich z. B. die Schädigung durch das frische und feuchte $Ca_3(PO_4)_2$, und auch sonst bietet das ganze Verhalten in beiden Fällen gewisse Ähnlichkeiten. Auch hier wird als wesentliche Ursache das Absinken des Ertrages der Reihe I, nur Grunddüngung, anzusehen sein, das sich gegenüber der mit getrennten Gaben von Kalireinsalz versehenen Reihe, die nur Grunddüngung aufweist, ergibt. Auch gegenüber der mit einmaliger Kalireinsalzgabe bedachten Reihe I zeigt ja Reihe I mit Rohsalzgabe noch ein geringes Herabgehen, das freilich nicht irgendwie sichergestellt ist.

Das Steigen der Phosphorsäuredüngerwirkung bei der zweiten Ernte, das wir bereits bei der getrennten, wie bei der einmaligen Kalireinsalzgabe beobachten konnten, findet sich auch hier wieder. Es hängt diesmal ganz besonders mit einem Rückgange im Ertrage der Grunddüngungsreihe zusammen, über dessen Gründe ja bereits oben[1]) einige Worte geäußert wurden. Wir prüfen diese Verhältnisse in der folgenden Zusammenstellung:

Reihe: Nur Grunddg.	Erste Ernte	Zweite Ernte	Zusammen
Kalireins., einm. G.	119,06 ± 3,93	115,97 ± 5,19	235,03 ± 6,51
Kalirohs., einm. G.	115,87 ± 5,40	89,66 ± 8,38	205,53 ± 9,97
Durch Rohsalz	−3,19 ± 6,68	−26,31 ± 9,86	−29,40 ± 11,91

Der Ertrag der Grunddüngungsreihe fällt von der Behand-

[1]) Oben S. 44.

lung mit einmaliger Kalireinsalzgabe zur Gabe von Kalirohsalz sehr ähnlich, wie von der getrennten Gabe von Kalireinsalz zur einmaligen Kalireinsalzgabe[1]). Vermutlich sind auch die Gründe im wesentlichen die gleichen, wie sie bei dieser Gelegenheit ausgeführt wurden, nur, daß die Kalirohsalzgabe natürlich noch stärker wirken muß, da sie mehr Alkalisalze[2]) in den Boden bringt.

In gleicher Weise, wie oben bei der Reihe, die mit wasserlöslicher Phosphorsäure als Phosphatdünger und einmaliger Kalireinsalzgabe versehen worden war, auch dieses Herabgehen der Phosphorsäureernten, und sogar in noch stärkerem Umfange sich zeigte[3]), sollte man es nun auch für die Rohsalzgabe erwarten. Das ist auch der Fall, wie hier ohne besondere Zusammenstellung bemerkt sei. Doch ist das Absinken wider Erwarten kein stärkeres, als bei der einmaligen Kalireinsalzgabe. Vielleicht verdecken die leider hier besonders großen wahrscheinlichen Schwankungen das tatsächliche Verhalten, wie es nach den Erscheinungen bei der Reihe „nur Grunddüngung“ wohl zu erwarten wäre, vielleicht kommen noch andere Gründe in Betracht.

Es wird nun die Kalirohsalzgabe für die schwerer löslichen Phosphatdünger gegen die einmalige Kalireinsalzdüngung zu vergleichen sein. Die getrennte Verabfolgung von Kalireinsalz kann nicht gut zum Vergleich herangezogen werden, dies wäre nur möglich, wenn auch Reihen mit Kalirohsalzdüngung vorhanden wären, bei denen dieses Salz in mehrmaliger Verabreichung den Pflanzen geboten worden wäre.

Erste Ernte in mg P_2O_5:

	Kalireinsalz	Kalirohsalz	Durch Rohsalz
Knochenmehl	115,30±6,69	103,60±1,73	—11,70±6,91
Thomasmehl	143,26±5,01	117,67±6,67	—25,59±8,34
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ lufttr. . .	112,62±5,60	108,35±4,13	—4,27±6,96
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ gegl. . .	124,62± 1,29	109,60±6,56	—15,02±6,69
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$ fr. u. f. . .	89,78±3,74	91,08±3,02	+1,30±4,81
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$ getr.[4]) . .	152,58±5,26	140,96±8,41	—11,62±9,92

[1]) Oben S. 43.
[2]) Und daneben auch etwas Magnesiumsalze.
[3]) Oben S. 46.
[4]) Ohne Abzug für Phosphorsäureernten, da dies hier nicht erforderlich, wo es sich um Vergleiche innerhalb derselben Reihen handelt.

Unter Berücksichtigung der wahrscheinlichen Schwankung müssen wir hiernach sagen, daß die Anwendung des Rohsalzes die schwerer löslichen Phosphate bei der ersten Ernte entweder zu geringerer Aufnahme durch unsere Pferdebohnen gebracht hat oder zum mindesten sie nicht förderte. Wir wenden uns zur zweiten Ernte:

Zweite Ernte in mg P_2O_5:

	Kalireinsalz	Kalirohsalz	durch Rohsalz
Knochenmehl	193,61±10,79	108,76± 1,72	—84,85±10,93
Thomasmehl	189,00± 3,53	117,85± 5,84	—71,15± 6,82
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ lufttr. . .	140,56± 7,88	113,83± 8,51	—26,73±11,60
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ gegl. . .	141,59±10,09	85.07± 4,86	—56,52±11,20
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$ fr. u. f. . .	98,47± 5,02	86,20± 4,22	—12,27± 6,56
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$ getr. . .	219,73± 5,72	178,40±12,34	—41,33±13,60

Hier hat sich die Beobachtung, die bei der ersten Ernte zunächst noch recht unsicher erschien, weitaus deutlicher und sicherer ergeben. Beim Knochenmehl, beim Thomasmehl, beim geglühten Phosphat von Kahlbaum ist die Phosphorsäureernte weit über die vierfache wahrscheinliche Schwankung hinaus beeinträchtigt worden. Aber auch in allen anderen Fällen nähern sich die durch das Rohsalz bedingten Mindererträge doch dem Gebiet größerer Glaubwürdigkeit bald mehr, bald weniger. Wie wir gleich sehen werden, liegt für die Summe beider Ernten das Ergebnis nicht viel anders:

Summe beider Ernten in mg P_2O_5:

	Kalireinsalz	Kalirohsalz	durch Rohsalz
Knochenmehl	308,91±12,70	212,36± 2,44	—96.55±12,93
Thomasmehl	332,26± 6,13	235,52± 8,87	—96,74±10,78
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ lufttr. . .	253,18± 9,67	222,18± 9,46	—31,00±13,53
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ gegl. . .	266,21±10,17	194,67± 8,16	—71,54±13,04
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$ fr. u. f. . .	188,25± 6,26	177,28± 5,19	—10,97± 8,13
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$ getr. . .	372,31± 7,77	319,36±14,93	—52,95±16,83

Es verlohnt sich vielleicht, noch hervorzuheben, daß das frische und feuchte Kalziumphosphat, das ja häufig besondere Besprechung verlangte, hier sich wenig ungünstig durch das Rohsalz beeinflußt zeigt, wie ja bereits bei der ersten Ernte. Als Grund kann man aber wohl nur annehmen, daß bereits bei den Reinsalzgaben die Phosphorsäureernten in dieser Reihe so niedrig waren, daß sie durch das Rohsalz nicht mehr viel herabgedrückt werden konnten.

Im Ganzen finden wir somit, entgegen dem Verhalten der einmaligen Kalireinsalzgabe, die ja vielfach bei den schwerlöslichen Phosphaten günstig gewirkt hatte, durch das Rohsalz eine zweifellose Benachteiligung der Phosphorsäureaufnahme.

Noch bleibt die mit Kalirohsalz und auch Kochsalz versehene Reihengruppe zur Besprechung übrig.

Erste Ernte in mg P_2O_5:

Kalirohsalz- und Kochsalzgabe und			dagegen nur Grunddüngung	durch Phosphatdünger
$CaH_4(PO_4)_2$		132,98 ± 1,69	109,98 ± 4,86	+23,00 ± 5,15
Knochenmehl		92,65 ± 2,33	109,98 ± 4,86	−17,33 ± 5,39
Thomasmehl		97,06 ± 1,47	109,98 ± 4,86	−12,92 ± 5,08
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttr.	109,01 ± 3,51	109,98 ± 4,86	− 0,97 ± 6,00
	gegl.	91,07 ± 5,04	109,98 ± 4,86	−18,91 ± 7,00
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	fr. u. f.[1])	35,42 ± 7,61	109,98 ± 4,86	−74,56 ± 9,03
	getr.[1])	44,05 ± 11,75	109,98 ± 4,86	−65,93 ± 12,72

Zweite Ernte in mg P_2O_5:

Kalirohsalz- und Kochsalzgabe und			dagegen nur Grunddüngung	durch Phosphatdünger
$CaH_4(PO_4)_2$		117,84 ± 7,50	82,74 ± 4,28	+35,10 ± 8,64
Knochenmehl		91,93 ± 7,06	82,74 ± 4,28	+ 9,19 ± 8,26
Thomasmehl		95,93 ± 7,17	82,74 ± 4,28	+13,19 ± 8,35
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttr.	76,49 ± 2,77	82,74 ± 4,28	− 6,25 ± 5,10
	gegl.	85,79 ± 6,32	82,74 ± 4,28	+ 3,05 ± 7,63
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	fr. u. f.[1])	67,76 ± 6,85	82,74 ± 4,28	−14,98 ± 8,08
	getr.[1])	57,56 ± 7,04	82,74 ± 4,28	−25,18 ± 8,24

[1]) Hier sind von den erzielten Phosphorsäureernten entsprechend dem Mehrgehalt des in Betracht kommenden neu benutzten Sandes die aus besonderen Versuchen ermittelten durchschnittlichen Phosphorsäuremehrernten abgezogen worden. Ob hierbei ganz zuverlässige Werte erhalten werden, erscheint fraglich. Die wahrscheinlichen Schwankungen sind die, welche sich aus den Werten vor Abzug der betreffenden Phosphorsäuremehrernten ergeben.

Summe der Ernten in mg P_2O_5:

Kalirohsalz- und Kochsalzgabe und		dagegen nur Grunddüngung	durch Phnsphatdünger
$CaH_4(PO_4)_2$	250,82± 7,69	192,72±6,48	+58,10±10,06
Knochenmehl	184,58± 7,43	192.72±6,48	— 8,14± 9,86
Thomasmehl	192,99± 7,32	192.72±6,48	+ 0,27± 9,78
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ lufttr.	185,50± 4,47	192,72±6,48	— 7,22± 7,87
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$ gegl.	176,86± 8,08	192,72±6,48	—15,86±10,36
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$ fr. u. f.	103,10±10,23	192,72±6,48	—89,54±12,11
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$ getr.	101,61±13,70	192,72±6,48	—91,11±15,16

Für die hier zur Behandlung stehende Düngung mit Kalirohsalz und Kochsalz finden wir wieder bei der ersten Ernte einen Mangel an jeglicher Wirkung der Phosphatdüngemittel, wie wir denselben bereits von der Kalirohsalzdüngung, ja, auch schon von der Verabfolgung des Reinsalzes in einer Gabe her kennen lernten.

Als Ursache ist auch jetzt wieder zunächst das Sinken des Ertrages der nur mit Grunddüngung versehenen Vergleichsreihe anzusehen. Wir stellen fest in mg P_2O_5:

Reihe: nur Grunddg.	Erste Ernte	Zweite Ernte	Zusammen
Kalirohs., einm. G.	115,87±5,40	89,66±8,48	205,53±10,05
dgl. m. Kochs., dgl.	109,98±4,86	82,74±4,28	192,72± 6,48
durch Kochsalz	—5,89	—6,92	—12,81

Das Sinken der Vergleichsreihe trat demnach bei der einmaligen Gabe des Kalireinsalzes in Erscheinung[1]), war beim Kalirohsalz gegenüber der einmaligen Kalireinsalzgabe vorhanden und zeigt sich nun auch noch weiter bei der Hinzufügung von Kochsalz. Es tritt offenbar hier, wo eine die Löslichkeit der vorhandenen Phosphorsäure steigernde Wirkung nur in sehr geringem Maße hervortreten kann, nahezu ausschließlich die der Phosphorsäureaufnahme durch die Pflanzen nachteilige Förderung der Lösung von Kalkverbindungen hervor, die zu steigender Erschwerung der Lösung der Phosphorsäure führen muß. Dabei sind die er-

[1]) Oben S. 43.

zielten Verringerungen der Phosphorsäurelöslichkeit zwar niemals so hoch, daß sie nun einwandfrei bewiesen wären, d. h. mit anderen Worten, daß sie über die vierfache wahrscheinliche Schwankung hinauslägen. Es ist aber doch wohl kaum an diesem allmählichen Herabgehen der mit bloßer Grunddüngung erzielten Werte zu zweifeln. Denn, wenn wir die beiden Endglieder der sich so ergebenden Reihe, von der in mehreren Gaben verabfolgten Kalireinsalzgabe bis zur Beifügung von Kochsalz, miteinander vergleichen, so erhalten wir ziemlich sichere Ergebnisse in mg P_2O_5:

Reihe: nur Grunddg.	Erste Ernte	Zweite Ernte	Zusammen
Kalireinsalz, getrennte Gabe	130,66 ± 3,47	139,35 ± 9,10	270,01 ± 9,74
Kalirohsalz mit Kochs., einm. G.	109,98 ± 4,86	82,74 ± 4,28	192,81 ± 6,48
durch Rohs. u. Kochs. in 1m. G.	−20,68 ± 5,97	−56,61 ± 10,05	−77,20 ± 11,70

Hier liegen die Unterschiede dicht an der vierfachen wahrscheinlichen Schwankung, beziehungsweise weit über dieselbe hinaus. Ganz ähnliche Ergebnisse würde bereits ein Vergleich der Reihe I: „nur Grunddüngung“ bei getrennter Kalireinsalzgabe mit der einmaligen Rohsalzgabe bringen, auf den hier der Einfachheit halber verzichtet sei. Man hat somit Grund genug, die allmähliche Verminderung der Phosphorsäurewerte in der nur mit Grunddüngung versehenen Reihe für tatsächlich zu halten. Als Ursache ergibt sich, wie bereits erwähnt, die Wirkung des vermehrten Vorhandenseins der anderen Ionen auf die Löslichkeit der Kalziumverbindungen. — Hierbei sei noch auf einen Umstand hingewiesen: Bei der soeben gebrachten Zusammenstellung, weniger deutlich, aber immerhin gut erkennbar auch bei allen anderen, entsprechenden Vergleichen, die wir brachten, zeigt sich dann noch, daß die ungünstige Wirkung besonders bei der zweiten Ernte stark hervortritt. Ein deutliches Zeichen, daß man es nicht sowohl mit einer die Wasseraufnahme durch die Pflanzen hemmenden, sogenannten

„reinen“ Salzwirkung zu tun hat, sondern mit eben einem Einfluß andersartiger Salze auf die Löslichkeit der Kalziumverbindungen. Es konnten diese Verhältnisse ja bereits oben eingehender besprochen werden[1]). Der Umstand, daß die Kochsalzgabe nicht mit einem Male, sondern bei der Bestellung und am 29. Juni verabfolgt wurde, wird ja gewiß auch noch den Einfluß des Kochsalzes bei der zweiten Ernte in der Richtung erhöhter Lösung von Kalisalzen gesteigert haben. Würde eine reine Salzwirkung vorliegen, so wäre indes nicht einzusehen, weshalb diese nicht alsbald nach der immer noch nahezu einen Monat vor der ersten Ernte liegenden Zeit der vollen Verabreichung deutlich in Erscheinung getreten wäre.

Ich kann noch eine andere Überlegung durchführen: Falls die hier nun bereits mehrfach hervorgehobene, lösende Wirkung der Kalisalze in ihren verschiedenen Formen auf die Kalksalze so bedeutungsvoll ist, so müssen wir folgenden Schluß für berechtigt erachten:

Handelt es sich um eine Düngung mit leichter löslicher Phosphorsäure, so wird die Schädigung stark überwiegen; denn diese lösende Wirkung der Salze mit anderen Ionen muß, da die Phosphorsäureverbindungen bereits leichter löslich sind, vorzugsweise auf die schwerer löslichen Kalksalze sich erstrecken, — andersgeartete, und uns hier nicht weiter fesselnde Verbindungen seien der Einfachheit halber ausgeschlossen, — und somit der Lösung der Phosphate merkbar entgegenarbeiten. Im Fall dagegen auch die Phosphorsäureverbindungen schwerer löslich sind, muß es neben der vermehrten Lösung des Kalkes auch zu einer wachsenden Lösung dieser Phosphate kommen, die dann wiederum durch den stärker im Bodenwasser auftretenden Kalk verringert, aber nicht ganz beseitigt werden dürfte.

Auch diese Überlegungen werden durch den Verlauf unserer Untersuchungen wahrscheinlich gemacht. Es sei auf die weiter oben durchgeführten Vergleiche hingewiesen[2]),

[1]) Vgl. oben S. 44 und folgende.

[2]) Oben S. 46 und 57, wo freilich der Vergleich rechnerisch nicht besonders durchgeführt wurde.

endlich hier noch der Vergleich zweier leichter löslichen Phosphate, nämlich des wasserlöslichen, und des Thomasphosphats einerseits, mit zwei schwerer löslichen, den beiden Trikalziumphosphaten von Kahlbaum, in mg P_2O_5 durchgeführt:

	Erste Ernte	Zweite Ernte	Zusammen
Mittel von $CaH_4(PO_4)_2$ und Thomasmehl bei getr. Kalireins-Gabe	148,37 ± 3,51	201,93 ± 4,72	350,30 ± 5,88
Desgl. bei Verabfolgung von Roh- und Kochsalz in einer Gabe	115,02 ± 1,12	106,89 ± 5,19	221,91 ± 5,31
Weniger durch Ansteigen der Salze mit fremden Ionen . .	33,35 ± 3,68	95,04 ± 7,04	128,39 ± 7,92
Mittel von $Ca_3(PO_4)_2$ v. Kahlbaum, beide Sorten bei getr. Kalireins.-Gabe	108,76 ± 2,72	129,21 ± 6,40	237,97 ± 6,95
Desgl. bei Verabfolgung von Roh- und Kochsalz in einer Gabe	100,04 ± 3,07	81,14 ± 3,45	181,18 ± 4,62
Weniger durch Ansteigen der Salze mit fremden Ionen .	8,72 ± 4,10	48,07 ± 7,10	56,79 ± 8,35

Das Ergebnis stimmt durchaus zu unseren Überlegungen.

Damit können wir uns dem Einfluß des Kochsalzes gegenüber der Verabfolgung von Kalirohsalz allein bei den verschiedenen Reihen zuwenden.

Erste Ernte in mg P_2O_5:

		Kalirohsalz	Kalirohsalz und Kochsalz	Durch Kochsalz
Knochenmehl		103,60 ± 1,73	92,65 ± 2,33	−10,95 ± 2,90
Thomasmehl		117,67 ± 6,67	97,06 ± 1,47	−20,61 ± 6,83
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttrocken	108,35 ± 4,13	109,01 ± 3,51	+ 0,66 ± 5,42
	geglüht	109,60 ± 6,56	91,07 ± 5,04	−18,53 ± 8,27
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht	91,08 ± 3,02	35,42[1]) ± 7,61	−55,66 ± 8,19
	getrocknet[1])	140,96 ± 8,41	119,65 ± 11,75	−21,31 + 14,45

Eine einwandfrei nachgewiesene Wirkung des Kochsalzes finden wir nur bei dem selbst hergestellten, frischen und feuchten $Ca_3(PO_4)_2$. Doch auch beim Knochenmehl

[1]) Entsprechend vermindert, um den Vergleich zu ermöglichen. Vgl. die bezüglichen früheren Anmerkungen.

wird die vierfache wahrscheinliche Schwankung nahezu erreicht, und der Minderertrag hier dürfte mit Recht als praktisch unzweifelhaft angesehen werden. In sich mehr oder minder anschließender Weise zeigt das noch ein wenig leichter lösliche Phosphat des Thomasmehls, und dann das geglühte Trikalziumphosphat von Kahlbaum auch noch eine leidlich deutliche Schädigung. Ganz unsicher sind die übrigen Werte. Diese, Reihe V und VIII, zeigen nun in der folgenden Zusammenstellung

Zweite Ernte in mg P_2O_5:

		Kalirohsalz	Kalirohsalz und Kochsalz	Durch Kochsalz
Knochenmehl		108,76± 1,72	91,93 ± 7,06	−16,83± 7,27
Thomasmehl		117,85± 5,84	95,93 ± 7,17	−21,92± 9,25
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttrocken	113,83± 8,51	76,49 ± 2,77	−37,34± 8,95
	geglüht	85,07± 4,86	85,79 ± 6,32	+ 0,72± 7,97
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht	86,20± 4,22	67.76 ± 6,85	−18,44± 8,05
	getrocknet[1])	178,40±12,34	89,28 ± 7,04	−89,12±14,21

gewissermaßen ergänzend Mindererträge durch das Kochsalz bei der zweiten Ernte, die über die vierfache wahrscheinliche Schwankung hinausliegen. So finde ich bei dem nun durchgeführten Vergleich der Summe beider Ernten im wesentlichen sicher nachgewiesene Minderaufnahmen von Phosphorsäure infolge der Anwendung der Kochsalzzulage.

Summe beider Ernten in mg P_2O_5:

		Kalirohsalz	Kalirohsalz und Kochsalz	Durch Kochsalz
Knochenmehl		212,36± 2,44	184,58± 7,43	−27,78± 7,82
Thomasmehl		235,52± 8,87	192,99± 7,32	−42,53±11,50
Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$	lufttrocken	222,18± 9,46	185,50± 4,47	−36,68±10,46
	geglüht	194,67± 8,16	176,86± 8,08	+17,81±11,48
Selbst hergestelltes $Ca_3(PO_4)_2$	frisch und feucht	177,28± 5,19	103,18±10,24	−74,10±11,48
	getrocknet[1])	319,36±14,93	208,93±13,70	-110,43±20,26

[1]) Ohne Abzug wegen des erhöhten P_2O_5-Gehaltes des hier benutzten Sandes, da der Vergleich innerhalb der Reihe dadurch nicht gestört wird.

Mit Ausnahme von Reihe VI, Kahlbaums Phosphat geglüht, bei dem der Minderertrag nicht einmal die doppelte, wahrscheinliche Schwankung erreicht, darf ich die übrigen Werte, die sämtlich über die dreieinhalbfache wahrscheinliche Schwankung hinausliegen, als sicher nachgewiesen ansehen, obwohl die vierfache Schwankung allerdings nur von den beiden Reihen mit selbst hergestelltem Phosphat überschritten wird.

3. Die Art der Kalisalzwirkung.

Der Zweck der Versuche war, einen Einblick in die Wirkung der Kalisalze zu gewinnen, sofern sie die P_2O_5-Aufnahme fördern, wie es von Haselhoff gezeigt wurde, und weiterhin ihre sonstige Einwirkung auf schwerlösliche Phosphate zu untersuchen. Die Gegenwart von Ca, insbesondere in der Form von $CaCO_3$, ist von mehr als einem Forscher als Hindernis für die Nutzbarmachung von Phosphaten, besonders von Knochenmehl, erkannt worden; so ist jedes Mittel, das die Pflanzen in Stand setzt. unter diesen Umständen die nötige Menge an P_2O_5 aufzunehmen, von großer Bedeutung für die praktische Landwirtschaft. In gewöhnlichem Ackerboden könnte die Erscheinung der Adsorption sehr leicht eine geringe Vermehrung der Nutzbarkeit der P_2O_5 verdecken. Um derartige Schwierigkeiten zu vermeiden, und um andere unvorhergesehene Zwischenfälle zu umgehen, die in fettem, mit Kalidüngung behandeltem Boden eine Rolle spielen könnten, wurde Sand als Saatgrund für die Pflanzen gewählt. Es ist eingangs bemerkt worden, daß dieser Sand nicht besonders arm im P_2O_5-Gehalt war, eine Tatsache, die den Versuchen mit Phosphatdüngern nicht gerade förderlich ist. Daher wird jedes günstige Ergebnis, das in diesen Versuchen entdeckt werden kann, aller Wahrscheinlichkeit nach noch deutlicher hervortreten, wenn dieselben Versuche in einem an P_2O_5 sehr armen Sande ausgeführt werden.

In kalkhaltigem Boden geht die Bildung von Alkalikarbonaten vor sich, wenn mit Kalisalzen, insbesondere mit Rohsalzen, gedüngt wird. Das von den Wurzeln der Pflanzen

und durch Zersetzung des Bodenhumus usw. hervorgebrachte CO_2 und die als Dünger gegebenen Kalisalze wirken dahin, daß eine große Menge $CaCO_3$ in Lösung geht und verringern dadurch die Löslichkeit der Phosphatdünger. Weiter kommt es dann durch Umsetzung mit Alkalichloriden und Alkalisulfaten zur eben erwähnten Entstehung von Alkalikarbonaten. Der Einfluß der Kalisalze und des Kochsalzes auf das $CaCO_3$ im Boden, die Rolle, welche diese Stoffe bei der Alkalibildung spielen, und in welcher Weise diese Gegenwirkungen die Kolloide des Bodens beeinflussen, ist von P. Ehrenberg[1]) behandelt worden, sodaß ich hier nur darauf verweisen kann.

Die Kochsalzmenge, welche für die Gefäße verwendet wurde, entspricht ungefähr derjenigen, welche in den geringeren Kalisalzqualitäten vorgefunden wird, sodaß dadurch besondere Versuchsreihen mit kaliärmeren Rohsalzen entbehrt werden konnten.

Über die Art, in der die Kalisalze die Phosphate beeinflussen, besonders das Thomasmehl, wird nach Haselhoff[2]) einer ihm mündlich von P. Wagner gemachten Mitteilung zufolge vermutet, daß es das im Kainit enthaltene Kochsalz und dann das Kalisulfat sind, welche die Veränderung in der Löslichkeit der P_2O_5 des Thomasmehls verursachen. Die Laboratoriumsversuche Haselhoffs lassen, wie er selbst sagt, die Annahme eines solchen Unterschieds nicht zu, besonders, da eine bessere Wirkung der Chloride gegenüber den Sulfaten nicht festgestellt wurde.

Wagner, sagt Haselhoff, scheint es als ausgemacht anzusehen, daß die Säuren dieser Salze sehr leicht von dem freien Kalk im Thomasmehl aufgenommen werden und dadurch Ätzkali oder Ätznatron frei machen, die ihrerseits auf Thomasmehl einwirken und seine P_2O_5 leichter löslich und den Pflanzen eher zugänglich machen. Die Untersuchungen von Haselhoff haben nach seiner eigenen Feststellung die Frage nicht entschieden.

---

[1]) Bodenkolloide II. Auflage. S. 337—359 (1918).
[2]) Landw. Jahrbücher 1905, Bd. 34. S. 624.

In der vorliegenden Arbeit Haselhoffs[1]) sind die Gründe dafür angegeben, warum ein gewisses patentiertes Düngemittel, das Knochenmehl enthält, bessere Wirkung ausübt, als reines Knochenmehl selbst. Bei diesem patentierten Prozeß wird Knochenmehl mit Kainitlösung behandelt oder mit Lösungen anderer Kali- und Magnesiumsalze, von denen man erwartet, daß sie die nötige Einwirkung hervorrufen, und wird dann getrocknet. Die Fabrikanten machen den Anspruch geltend, daß eine derartige Behandlung das Knochenmehl günstig beeinflußt, sodaß die Salze

„1. den Fäulnisprozeß verhindern oder verlangsamen,

2. die bei der langsamen Verwesung gebildeten ammoniakalischen Produkte binden,

3. im Boden zersetzend auf das Kalkphosphat einwirken."

Es bleibt noch weiterer Untersuchung überlassen zu entscheiden, ob diese Ansprüche mit Recht erhoben werden.

Für uns wird es sich nun um die Beantwortung der Frage handeln, ob auch bei Gegenwart von größeren Kalkmengen im Boden eine günstige Wirkung der Kalisalze auf die Aufnahme von Phosphorsäure festzustellen ist, wodurch diese bedingt ist, und welche Schlüsse man aus den hierbei zu Tage tretenden Erscheinungen etwa für die Verabfolgung von Kalisalzen in der Praxis zu ziehen hat.

Die einzigen Versuche, welche bislang in dieser Frage einen Anhalt zu geben vermöchten, stammen von Haselhoff[2]). Er fand:

Phosphorsäure in der Ernte in mg:

Herbstdüngung	Weizen im ersten Versuchsjahr im Stroh	Weizen im ersten Versuchsjahr im Korn	Gerste im zweiten Versuchsjahr im Stroh	Gerste im zweiten Versuchsjahr im Korn	Summe:
Knochenmehl mit kohlensaurem Kalk . .	91	79	14	4	188
Knochenmehl m kohlens. Kalk und Kainit[3]) .	70	75	22	16	183
Frühjahrsdüngung					
Knochenmehl mit kohlensaurem Kalk . .	93	52	14	4	163
Knochenmehl m. kohlens. Kalk und Kainit .	54	77	36	29	196

[1]) Landw. Jahrb. 1905, Bd. 34. S. 625.

[2]) Landw. Jahrbücher, 34, 632, (1905).

[3]) Es ist hier, wie weiter unten, nur der Versuch herangezogen, bei dem Kainit erst im Gefäß mit dem Knochenmehl zusammengebracht wurde.

Hier ist demnach die sonst von Haselhoff beobachtete günstige Wirkung des Kainits auf die Löslichkeit der Thomasmehl- und Knochenmehl-Phosphorsäure nicht einwandfrei nachgewiesen. Wollte man das Ergebnis der Reihen mit Frühjahrsdüngung als in dieser Richtung beachtenswert heranziehen, so würde man noch die wahrscheinlichen Schwankungen, welche den Versuchen anhaften, zur Beurteilung verwenden müssen. Sie sind, da eine besondere Analyse der einzelnen Gefäßernten nicht durchgeführt wurde, nun leider nicht festzustellen, immerhin aber ergeben die Schwankungen in den Ernteerträgen der Einzelgefäße, — sie weisen für die Herbstdüngungsversuche Unterschiede u. a. von 25,0 zu 31,4 und von 6,0 zu 10,5 g Erntemasse auf, für die Frühjahrsdüngungsversuche desgleichen z. B. Unterschiede von 8,7 zu 14,7 g, — die Sicherheit, daß auch den Phosphorsäureernten nicht ganz geringe Schwankungen anhaften müssen. Da weiter auch Angaben über die Menge des verabfolgten kohlensaueren Kalkes und Kainits fehlen, auch der Kainit offenbar keimungsverzögernd gewirkt hatte, kann man wohl für die uns hier beanspruchende Frage der Wirkung von Kalisalzgaben auf die Löslichkeit in einen kalkreicheren Boden eingebrachter Phosphate die Versuche von Haselhoff nicht mit größerem Erfolge heranziehen. Es kommt hinzu, daß Haselhoff überhaupt das Schwergewicht für seine Beobachtung einer lösenden Wirkung von Kalisalzen auf Phosphate der vor dem Ausstreuen durchgeführte Vermengung der beiden Düngemittel beilegt. Ich beschäftige mich jedoch nur mit der Wirkung, welche die Salze im Boden aufeinander ausüben.

Es wird daher jetzt die Frage sein, wie weit mir die bislang einzeln behandelten Ernten an Pflanzentrockenmasse und Phosphorsäure die Möglichkeit geben, von einem Einfluß der Kalisalze auf die Löslichkeit und Aufnahme der Phosphorsäure verschiedener Phosphate zu sprechen.

Für die Aufnahme der Phosphorsäure konnte bereits auf den Seiten 49—53 diese Frage bejaht werden. Verwendung der Reinsalze in einmaliger Gabe, an Stelle ge-

trennter Verabfolgung, führte zu nachweisbar besserer Verwertung der schwerer löslichen Phosphate durch die Pferdebohnen.

Die Andeutungen, welche sich für eine entsprechend stärkere Bildung von Pflanzentrockenmasse finden, sind leider nicht besonders deutlich, obwohl sie zum Teil auch nach der erwähnten Richtung liegen. Ich werde versuchen, sie durch Vereinigung und Umgruppieren schärfer hervor treten zu lassen; dann ergeben sie zusammen mit dem bereits oben abgeleiteten Ergebnis der Phosphorsäureernten, folgendes:

Durch die einmalige Kalireinsalzgabe wurde gegenüber der Anwendung der gleichen Menge von Kalisalzen, aber in getrennter Gabe, erzielt:

	Im Mittel der Reihen Grunddg. und $CaH_4(PO_4)_2$		Im Mittel der Reihen Knochenmehl, Thomasmehl, Kahlbaums $Ca_3(PO_4)_2$, lufttr. u. gegl, sowie selbst hergest., getrocknet. $Ca_3(PO_4)_2$:	
	Trockenmasse	Phosphorsäure	Trockenmasse	Phosphorsäure
	g	mg	g	mg
I. Ernte	$-5{,}86 \pm 1{,}23$	$-21{,}52 \pm 4{,}27$	$+1{,}53 \pm 1{,}02$	$+14{,}05 \pm 3{,}03$
II. Ernte	$-4{,}49 \pm 1{,}81$	$-22{,}80 \pm 8{,}51$	$+1{,}87 \pm 1{,}16$	$+9{,}23 \pm 5{,}41$
Summe beider Ernten	$-10{,}35 \pm 2{,}19$	$-44{,}32 \pm 9{,}52$	$+3{,}40 \pm 1{,}55$	$+23{,}28 \pm 6{,}20$

Also wurde durch die einmalige Kalireinsalzgabe gegenüber der getrennten Kalireinsalzgabe bei den schwerer löslichen Phosphaten im Vergleich zu den beiden Reihen mit wasserlöslicher Phosphorsäure erzielt:

Bei der I. Ernte $+7{,}39 \pm 1{,}60$ g Trockenm. u. $+35{,}57 \pm 5{,}24$ mg Phosphors.
Bei der II. Ernte $+6{,}36 \pm 2{,}15$ „ „ „ $+32{,}03 \pm 10{,}08$ „ „

Summe beid. Ernt. $+13{,}75 \pm 2{,}68$ g Trockenm. u. $+67{,}60 \pm 11{,}36$ mg Phosphors.

Die Verwendung der einmaligen Kalireinsalzgabe an Stelle der getrennten Verabfolgung des Salzes rief demnach für die schwerer löslichen Phosphate einen deutlich über die vierfache wahrscheinliche Schwankung hinausliegenden Mehr-

ertrag an Trockenmasse wie Phosphorsäure gegenüber der Wirkung bei den wasserlöslichen Phosphaten hervor.

Dieser Wert ist eigentlich noch etwas niedriger, als es die Einwirkung auf die schwerlöslichen Phosphate erfordert, weil auch diese schwerlöslichen Phosphate sämtlich eine Grunddüngung mit wasserlöslicher Phosphorsäure erhalten haben, und daher die bei ihnen sich ergebenden Werte als einen gewissen Anteil auch die nachteilige Wirkung der einmaligen Kalisalzgabe auf diese Grunddüngungsphosphorsäure umschließen. Hierdurch wird selbstverständlich der günstige Einfluß der einmaligen Gabe auf die schwerer löslichen Phosphate um etwas beeinträchtigt. Es wäre wohl möglich gewesen, durch rechnerische Maßnahmen zu versuchen, auch diese Tatsache zu berücksichtigen. Indessen würde dadurch die ganze Ableitung doch wohl in den Augen manchen Lesers zu gekünstelt erschienen sein, und das oben erlangte Ergebnis bietet ja auch ohne derartige Hilfsmittel einen einwandfrei sicheren Schluß zugunsten der Wirkung der größeren Salzkonzentration im Gefäßerdboden. Hier tritt, wie bereits oben betont, die Tatsache hervor, daß es wohl nach gewisser Richtung hin Nutzen gebracht hätte, wenn die Grunddüngung mit wasserlöslicher Phosphorsäure fortgefallen wäre.

Allerdings darf nicht unberücksichtigt bleiben, daß sich die soeben festgestellte Förderung der Verwertung schwerer löslicher Phosphate aus zwei einzelnen Bestandteilen zusammensetzt: Der hemmenden Wirkung auf die Phosphorsäureaufnahme bei Düngung mit wasserlöslicher Phosphorsäure, und dem günstigen Einfluß bei der Gabe der schwerer löslichen Phosphate. Das wird namentlich wichtig sein, wenn man versucht dies Ergebnis für die landwirtschaftliche Praxis einstweilen nutzbar zu machen, bis weitere Untersuchungen besseres Material gebracht haben. Der Grund für diese Verhältnisse ist ja bereits früher dargelegt worden und sei hier nur noch einmal wiederholt: Die vermehrte Löslichkeit der Kalksalze, bedingt durch Anwesenheit stärkerer Kon-

zentration von andersartigen Ionen, kann sich bei den wasserlöslichen Phosphaten nur nachteilig geltend machen, dadurch, daß die leichter lösliche Phosphorsäure schwerer löslich gemacht wird, weil sich in vermehrtem Umfange Ca-Ionen in der Bodenlösung zeigen. Bei den schwerer löslichen Phosphaten dagegen spielt das theoretisch auch durchaus zu erwartende Steigen der Löslichkeit auch der vorher weniger löslichen Kalksalze der Phosphorsäure eine günstige Rolle. Es wird nur von Bedeutung sein, daß diese Förderung der Löslichkeit der Phosphate nicht etwa durch eine besonders große und darüber hinausgehende Steigerung der Löslichkeit anderer Kalksalze wieder beeinträchtigt und in den Hintergrund gedrängt wird.

Dies finden wir anscheinend für die Rohsalzgabe bei unseren Versuchen. Von Einzelheiten abgesehen, die ja bereits besprochen werden konnten, hat die Rohsalzgabe bei den schwerer löslichen Phosphaten ebenso wie bei den leicht löslichen die Phosphorsäureernten herabgemindert, und zwar zumeist in durchaus glaubwürdigem Umfange. Dem entspricht auch die Ernte an Trockenmasse, die zumal bei den drei für uns hier besonders wichtigen Phosphaten Knochenmehl, Thomasmehl und geglühtem Trikalziumphosphat einen zweifellosen Minderertrag aufweist.

Es ist nun allerdings die Frage, ob wir es hier mit einer einfachen Wirkung der Konzentrationssteigerung zu tun haben, oder ob der Gehalt des Rohsalzes an Natriumverbindungen gegenüber den reinen Kalisalzen eine besondere Rolle zu spielen vermag.

Das die Löslichkeitserhöhung durch Salze mit vorher in der Lösung nicht vorhandenen Ionen mit zunehmender Konzentration wächst, geht, wie oben bereits flüchtig erwähnt, aus den Untersuchungen von W. A. Noyes hervor. Er fand z. B. beim Thallochlorid bei Zusatz von:

0	KNO_3 in Grammäquival. i. L.	eine Löslichk. v.	0,0161 Grammäqu. i. L. b. 25°
0,0150	„ „ „ „ „ „	„	0,0170 „ „ „ „ „
0,0300	„ „ „ „ „ „	„	0,0179 „ „ „ „ „
0,0787	„ „ „ „ „ „	„	0,0192 „ „ „ „ „
0,1574	„ „ „ „ „ „	„	0,0212 „ „ „ „ „

Hiernach kann es einem Zweifel nicht unterliegen, daß eine Konzentrationssteigerung zu verstärkter Auflösung von Kalksalzen führen muß. Es entsteht aber die Frage, ob auf diesem Wege nicht lediglich eine Förderung der Aufnahme schwerer löslicher Kalkphosphate erwartet werden müßte. Indessen wirkt ja wieder vermehrte Anwesenheit von Salzen in einer Lösung, die mit dem untersuchten Salze Ionen gemeinsam haben, hemmend auf die Löslichkeit. Geht also durch Anwesenheit stärkerer Konzentrationen von, sagen wir zunächst Kalireinsalz, mehr schwefelsaurer und kohlensaurer Kalk in Lösung, so muß dies auf die Löslichkeit von Kalkphosphaten ungünstig wirken, da Ca vermehrt in der Lösung auftritt. Ob nun die Löslichkeitshemmung durch diese neu auftretenden Kalziumionen, oder die Löslichkeitssteigerung durch die vermehrte Konzentration des Kalireinsalzes den Ausschlag geben wird, ist ohne eingehende Durcharbeitung dieser Fragen mit Hilfe exakter Versuche wohl kaum im einzelnen zu sagen. In unserem Fall haben wir jedenfalls bei der einmaligen Kalireinsalzgabe den Erfolg einer Löslichkeitssteigerung beobachtet. — Daß mit steigender Konzentration vielleicht die Löslichkeitshemmung mehr und mehr eine gewisse Wichtigkeit erhält, mag noch aus Beobachtungen von Cameron und Hurst hervorgehen. Diese beobachteten, ebenso wie z. B. Rindell[1]), die Steigerung der Löslichkeit von Kalkphosphaten bei Zusatz von z. B. Chlorkalium und Natronsalpeter[2]), fanden indessen, daß dabei mit steigender Konzentration des Zusatzes mehr Kalk und weniger Phosphorsäure in Lösung ging.

Ob eine verschiedene Wirkung für Kalium- und Natriumionen vorliegt, würde sich wohl aus den Versuchen von Cameron und Hurst ermitteln lassen, da diese Forscher, wie gesagt, mit Chlorkalium und Natronsalpeter gearbeitet haben. Leider ist indessen anzunehmen, daß sie nicht zu wirklichen Gleichgewichtszuständen gelangten. Deshalb sei hier auf weitere Diskussion dieser fesselnden Fragen ver-

[1]) A. Rindell, Dissertation Helsingfors 1899.
[2]) Cameron und Hurst, Journ. Amer. Chem. Soc. 26, 885 (1904).

zichtet. Nur die Möglichkeit, daß Natriumsalze die Löslichkeit von Phosphaten in anderer Weise beeinflussen, als Kalisalze, bleibt offen.

Auch die Säurerest-Ionen, welche mit den Kali- oder Natriumionen vereinigt sind, vermögen indes unzweifelhaft auch auf die Lösung von Phosphaten einzuwirken. Liegt z. B. ein Natron- oder Kalisulfat vor, so vermag dies mit vorhandenem $CaCO_3$ viel stärker zu reagieren, als ein Chlorid. Es geht also beim Sulfat viel mehr Kalk in Lösung, als beim Chlorid, was seine Ursache in der von Böttger ermittelten, geringen Dissoziation gesättigter Gipslösung hat [1]). Im Einklang hiermit konnten auch Cameron und Seidell [2]) beobachten, daß in Natriumsulfatlösungen sich kohlensaurer Kalk stärker löste, als in Kochsalzlösungen. Derart stärker in Lösung gehende Kalziumionen müssen nun aber wieder rückwärts auf die Löslichkeit vorhandener Kalkphosphate hemmend wirken.

Weiter hin aber kommen noch Fragen der Aufnahme der verschiedenen Alkalisalze durch die Pflanzen in Betracht. Wir wissen, daß Natriumion von der Mehrzahl unserer Kulturpflanzen weniger aufgenommen wird, als Kaliumion. Auch hierdurch können die lösenden Wirkungen auf die Phosphate beeinflußt werden, wie endlich dadurch, daß Adsorption und Basenaustausch bei Kaliumverbindungen anders und meist intensiver verlaufen, als bei Natriumsalzen. Deshalb habe ich für diese Versuche auch mit Sand, nicht mit einem Ackerboden arbeiten müssen.

Nun aber kommen als beeinflussend für die Löslichkeit der Kalkphosphate in meinen Versuchen noch eine ganze Reihe von anderen Umständen in Betracht. Zunächst ist es die Kohlensäure, die an sich die Löslichkeit des Trikalziumphosphats im Wasser erheblich steigert. Findet sich indessen gemeinsam mit dem Phosphat kohlensaurer Kalk vor, sodaß es zum Auftreten von Kalziumbikarbonat kommt, so sinkt die Löslichkeit, wie Th. Schlösing d. Ae. ermitteln

[1]) Zeitschr. f. phys. Chem. 46, 521 (1903).
[2]) Journ. of Phys. Chem. 6, 50 (1902).

konnte [1]), sehr erheblich, sodaß in kohlensäurehaltigem Wasser bei Gegenwart beider Salze das Trikalziumphosphat schwerer löslich ist, als das Kalziumkarbonat. Die Versuche von Simmermacher [2]) und anderen mit Hafer haben gezeigt, daß $CaCO_3$, angewendet in Verbindung mit Monokalziumphosphat, die Ernte noch nicht beeinträchtigt, sondern nur die P_2O_5-Aufnahme etwas erschwert. Für die ganzen Verhältnisse wird indessen auch die feinere oder gröbere Verteilung des Kalziumkarbonats wie des Phosphats eine gewisse Rolle spielen, um so mehr, als sich ohnehin bei der Löslichkeit der Kalkphosphate die Gleichgewichte so sehr schwer und langsam einstellen [3]).

Hinzu treten aber weiter die Reaktionen zwischen den Alkalisalzen, der Kohlensäure und dem kohlensauren Kalk, die voraussichtlich bei Gegenwart von Kalisalzen auch nicht durchaus in der gleichen Weise verlaufen, wie bei den Natriumsalzen, für die ziemlich eingehende Untersuchungen vorliegen [4]). So sind die Schwierigkeiten, die einer Klärung dieser Verhältnisse entgegenstehen, keine geringen, und es mag noch vieler Arbeit bedürfen, um hier die erforderlichen Kenntnisse anzubahnen. Den Umstand, daß in den Gefäßen auch noch Magnesium-, Eisen- und andere Verbindungen, salpetersaure Salze und dergl. sich finden, habe ich noch garnicht beachtet.

Es zeigt sich somit, daß eine theoretisch auch nur einigermaßen ausreichende Erklärung der bei meinen Versuchen vorliegenden Verhältnisse kaum angängig ist. Immerhin muß sie natürlich in jedem Falle angestrebt werden. Wo dies nicht in etwas weitergehendem Ausmaße der Fall war, wie z. B. bei Mitscherlich und Simmermacher [5]), kommen nicht nur durchaus irrige Anschauungen auf dem Gebiet der Er-

[1]) Th. Schlösing d. Ae., Comptes rendues 131 (1), 149 u. f., (1900); ebenda 211 u. f.

[2]) Dissertation Königsberg. 1912.

[3]) Sackur, s. Abeggs Handb. d. anorgan. Chemie, Kalzium, Bd. II, 2. 147 (1900).

[4]) P. Ehrenberg, die Bodenkolloide, II. Aufl. 337—359 (1918).

[5]) A. Mitscherlich und W. Simmermacher, Landw. Versuchsstationen, 79/80, 72 u. f. (1913).

klärung der beobachteten Tatsachen vor, wie etwa die Wirkung eines Salzes mit gleichem Ion auf Trikalziumphosphat durch die geringere, eines solchen mit ungleichem Ion durch die bessere Löslichkeit der zugefügten Salze erklärt wird[1]); es mußte auch die Methodik des Versuchs darunter leiden, daß man zwar die Wirkung kohlensauren Kalkes auf eine verminderte Löslichkeit des schwerer löslichen Phosphats berücksichtigen wollte, aber nicht wußte, daß auch Gips durchaus schädigend auf die Löslichkeit wirken mußte[2]), wie nicht nur theoretische Gründe, sondern sogar eigene Versuche der beiden erwähnten Forscher[3]) dartaten.

Bei unseren Versuchen finden wir jedenfalls, wie bereits dargelegt wurde, eine ungünstige Wirkung der Rohsalze, außer bei der Düngung mit größeren Mengen wasserlöslicher Phosphorsäure. Durch die Düngung mit Kochsalz, die neben dem Rohsalz verabreicht wurde, ist eine solche im wesentlichen noch stärker und ausgesprochener geworden. Sowohl der Ertrag an Trockenmasse, wie an Phosphorsäure ist zum Teil erheblich gesunken. Da die Wirkung sich auch gegenüber der Verwendung von Rohsalz zeigt, nicht etwa nur dem Reinsalz gegenüber, stehen wir voraussichtlich der Folge der Konzentrationserhöhung gegenüber, denn Natriumsalze brachte ja auch das Rohsalz bereits in verstärktem Umfange in die Bodenlösung.

Wichtig erscheint es mir besonders, daß die Frage, ob die Natriumsalze, oder die bloße Konzentrationserhöhung für die Verminderung der Phosphorsäure- und damit auch der Trockenmassenernte haftbar zu machen ist, möglichst bald ihre Lösung findet. Dies würde voraussichtlich für die Ausnutzung der sich hier zeigenden Ergebnisse in der Praxis von erheblicher Wichtigkeit sein.

---

[1]) a. a. O. 72. Simmermacher allein hat allerdings an anderem Ort, Landw. Versuchsstationen, 77, 448 (1912) der Wirkung der Ionen in der hier in Betracht kommenden Richtung einige Aufmerksamkeit gewidmet.

[2]) a. a. O. 82.

[3]) a. a. O. 72. Katayama's und Uchiyama's gegenteilige Ergebnisse, vgl. oben 4/5, müssen wohl durch besondere Umstände erklärt werden, erscheinen auch unsicher.

Es muß überhaupt auffallen, daß man bislang dem Einfluß der Kalisalze auf die Löslichkeit der Phosphorsäure bei der Düngung eine nur sehr geringe Beachtung geschenkt hat. Da man seit Jahren weiß, und darauf aufmerksam macht, daß eine Düngung mit zumal Kalirohsalzen etwa in Gestalt des Kainits große Mengen von Kalksalzen im Boden löslich werden läßt, und unter Umständen zu ihrer Auswaschung führt, so hätte man sich daraus ohne weiteres ableiten können, daß für die Dauer der Anwesenheit dieser erhöhten Mengen von Kalziumion in der Bodenlösung die Löslichkeit der Phosphorsäure in derselben vermindert werden müsse, soweit sie in Gestalt von Kalkphosphaten auftritt. Die theoretischen Zusammenhänge dieser Art sind offenbar, wie ich bereits oben an einem Beispiel darlegen konnte [1]), so wenig bekannt, daß man an ähnliche Zusammenhänge niemals auch nur gedacht hat. Gewissermaßen instinktiv ist nur durch die aus anderen Gründen abgeleitete Regel, Kalirohsalze möglichst vor Winter zu geben, damit die Chlorverbindungen derselben ausgewaschen werden können, auch eine der Lösung der Phosphorsäure vorteilhafte Maßregel angewandt worden.

Man wird mit allem Vorbehalt auf Grund der hier dargelegten Beobachtungen und Tatsachen folgende Ansichten ausführen dürfen, welche für die landwirtschaftliche Praxis bezüglich des Verhaltens von Phosphaten und Kalisalzen gewisse Richtlinien geben können, bis weitere Untersuchungen hier die noch sehr erforderliche bessere Klarheit geschaffen haben.

1. Starke Düngung mit Kalirohsalzen, die zum Löslichwerden und gegebenenfalls Auswaschen erheblicher Kalkmengen aus dem Boden führt, wirkt zunächst stark hemmend auf die Löslichkeit der Phosphate im Boden, der normal kalkhaltig ist. Sie ist daher auf allen an Phosphorsäure nicht besonders reichen Böden für unser Klima vor Winter auszuführen, damit die in Lösung gehenden Kalksalze mit

[1]) Seite 73 u. 74.

der Winterfeuchtigkeit versinken und ausgewaschen werden können. Ein Verlust von Phosphorsäure dabei ist durchaus unwahrscheinlich.

2. Beim Mangel an Phosphaten leicht löslicher Art (Superphosphate, dann auch Thomasmehl) zur Düngung ist voraussichtlich stärkere Düngung mit den hochprozentigen Kalisalzen (40 % Salz, noch mehr Chlorkalium) auf Böden mit normalem und größerem Kalkgehalt vorteilhaft, weil dadurch die Löslichkeit schwerer löslicher Phosphate vermehrt werden dürfte. Dagegen wird die Löslichkeit und Aufnehmbarkeit der wasserlöslichen Phosphorsäure der Düngemittel auf diesem Wege wahrscheinlich schon beeinträchtigt, ohne daß freilich die Sicherheit bestände, daß hierdurch unter den verwickelten Verhältnissen der Praxis stets wahrnehmbare Folgen in Erscheinung treten müßten. Trotzdem mag der Rat gegeben werden, bei Düngung von Ländereien mit größeren Mengen von hochprozentigen Kalisalzen, falls nur wenig mit Phosphorsäure gedüngt werden konnte, und zumal schwerer lösliche Phosphate dabei herangezogen wurden, oder, falls die Bodenphosphorsäure die wesentliche Lieferung der für die Pflanzen notwendigen Phosphorsäure übernehmen muß, die Kalisalze in einer Gabe zu verabfolgen. Wird dagegen reichlich mit wasserlöslicher Phosphorsäure gedüngt, so ist es, falls sonstige Bedingungen dem nicht entgegenstehen, ratsam, die hochprozentigen Kalisalze nur zum Teil bei der Bestellung, und zum Teil etwa in Mengen von ½—1 Zentner 40% Salz oder Chlorkalium auf den Morgen später bei geeignetem Wetter als Kopfdüngung zu geben, wenn die Pflanzen schon mehr erstarkt sind.

3. Die Verwendbarkeit von Knochenmehl auf kalkhaltigeren Böden kann vielleicht, wie die von mir ermittelten Zahlen ergeben, durch gleichzeitige Düngung mit reichlichen Mengen zumal von Chlorkalium, wie dieselben ohnehin für Kartoffel-, Zuckerrüben-, Futterrüben und ähnliche Felder öfters in Betracht kommen wird, gesteigert werden. Natürlich soll damit nicht empfohlen sein, statt oder neben der wasserlöslichen oder Thomasphosphorsäure in solchen Fällen

das Knochenmehl als durchaus gleichberechtigt anzusehen. Nur bei Mangel an den anderen Phosphorsäuredüngemitteln oder, wo man auch sonst Knochenmehl anwenden würde, mag man auf derartigen Böden das Knochenmehl durch die Beigabe stärkerer Mengen von Chlorkalium zu erhöhter Ausnutzung zu bringen suchen, größere Gaben von Kalirohsalzen dagegen, falls sie nicht vor Winter angewendet werden können, besonders sorgfältig vermeiden.

Weitere Schlüsse sind bislang nicht berechtigt und auch diese bedürfen durchaus weiterer Bestätigung durch den exakten Versuch, zumal auch bei verschiedenen Kulturpflanzen. Daß unter gewissen, in unserem Versuche vorhandenen Bedingungen indessen die Löslichkeit der schwerer von den Pflanzen aufnehmbaren Phosphate gegenüber der wasserlöslichen Phosphorsäure durch stärkere Gaben von reinen Kalisalzen vermehrt werden konnte, unterliegt keinem Zweifel.

Besonders wird es nun wichtig sein, durch weitere Versuche zu prüfen, ob steigende Konzentrationen reiner Kalisalze dauernd in der erwähnten Richtung günstig wirken, oder ob auch für sie — selbstverständlich immer unter Innehaltung nicht an sich pflanzenschädlicher Gaben —, eine Konzentration vorhanden ist, bei der eine Schädigung der Löslichkeit der Phosphorsäure aufzutreten vermag. Weiterhin muß die Frage bearbeitet werden, ob Natriumsalze anders und ungünstiger als Kalisalze in dieser Richtung zu wirken vermögen. Dabei wird es unerläßlich sein, der theoretischen Seite der Frage, die sehr verwickelt liegt, weiter besondere Aufmerksamkeit zu schenken, sowie stets die Nebeneinflüsse, welche das benutzte Bodenmaterial bedingen kann, wie u. a. T. Pfeiffer[1]) zeigte, genau zu beachten.

Außerdem wird es wichtig sein, den Einfluß von schwer- und schwerstlöslichen Phosphaten auf die Ausnutzung leicht-

[1]) Th. Pfeiffer und W. Simmermacher, Landw. Versuchsst. 87, 459 (1916). Die ganzen Versuchsergebnisse dieser, meiner hier vorliegenden Arbeit dürften auch als weiterer Beweis für die Bedeutung von Versuchen in reinstem, reaktionslosem Sande für unsere Kenntnisse auf dem Gebiet der Pflanzenernährung anzusehen sein.

löslicher Phosphate im Boden weiter zu verfolgen, und die schon von Rindell festgelegte Tatsache, daß Trikalziumphosphat durch Glühen leichter aufnehmbar wird, die sich auch bei unseren Versuchen zeigt und vielleicht schon auf das Trocknen auszudehnen ist, zu prüfen. —

Außer den jetzt besprochenen Gefäßversuchen wurden Laboratoriumsversuche über die Löslichkeit der Phosphatdünger und Phosphate im Jahre 1915 angestellt; sie sind im folgenden Abschnitt beschrieben. Nach ihrem Ergebnis vergrößerte die Behandlung des Thomasmehls mit Kalisalzen die Löslichkeit seiner P_2O_5 in Citronensäure nicht. Dies Resultat steht durchaus im Widerspruch zu der Erfahrung Haselhoffs. Vielleicht liegt diese Abweichung an der besseren Qualität unseres jetzigen Thomasmehls. Seit der Zeit, da Haselhoff seine Versuche ausführte, ist die Herstellung des Thomasmehls vielen Verbesserungen unterworfen gewesen, und Thomasmehl mit einem geringen Gehalt an in Citronensäure löslicher P_2O_5 ist eine Seltenheit geworden. Die Ergebnisse der Gefäßversuche andererseits zeigen, daß die Kalirohsalze und NaCl in kalkreichem Boden ungünstig auf die Aufnahme von P_2O_5 des Thomasmehls einwirken, die reinen Salze hingegen üben durchaus keinen schädlichen Einfluß aus.

Bei den Löslichkeitsversuchen zeigten Kalisulfat, Chlorkali und Kainit eine günstige Wirkung nur auf das Knochenmehl „Dreia“, folglich wurde diese Art Knochenmehl für die Gefäßversuche gebraucht. Die Ergebnisse dieser Versuche mit Kalireinsalzdüngung stehen im Einklang mit der vermehrten Löslichkeit des Knochenmehls, wie sie durch die erwähnten Versuche festgestellt worden war.

Der Einfluß von Kalisalzen und Kalidünger auf die Löslichkeit schwerlöslicher Phosphate und Phosphatdünger.

Im Jahre 1846 lenkte Dumas in Paris die Aufmerksamkeit der Physiologen auf die Tatsache, daß Kalziumphosphat in einer Lösung von Ammoniumchlorid oder in mit CO_2-gesättigtem Wasser löslich ist und wies darauf hin, daß diese Tatsache die Aufnahme der Phosphate durch die Pflanzen erkläre. Liebig sagt, daß er in seiner Agriculturchemie [1]) diesen Punkt berührt und darüber folgendes geäußert habe:

Der Weg, auf welchem Phosphate alkalischer Erden, insbesondere das des Kalziums, von den Pflanzen aufgenommen werden, kann durch einfache Versuche erklärt werden: Kalziumphosphat ist unlöslich in reinem Wasser, aber löslich in Wasser, das Kochsalz oder Ammoniumsalze in Lösung enthält. In einer Lösung von Am_2SO_4 löst es sich ebenso rasch wie $CaSO_4$ selbst. In CO_2-haltigem Wasser löst es sich ähnlich wie $CaCO_3$. Ein Liter mit CO_2 gesättigtes Wasser löst 0,6256 g Knochenerde, beim Sieden werden 0,500 g ausgeschieden, während nach dem Abkühlen nur 0,1626 g in Lösung bleiben [2]).

Wieder nach Liebig [3]) steigert die Gegenwart von Kochsalz, Ammoniumsalzen und Kohlendioxyd die lösende Wirkung des Wassers gegenüber dem Kalziumphosphat. Später haben eine Anzahl von Forschern sich damit beschäftigt, die lösende Wirkung verschiedener in Lösung befindlicher Salze auf die Phosphate zu bestimmen.

Schulow [4]) fand, daß eine Lösung von Am_2SO_4 mehr P_2O_5 aus einem Phosphorit herauszieht als ein gleich großes Volumen destilliertes Wasser. Dieselbe Tatsache ergab sich auch für eine Lösung von Ammoniumnitrat, aber nicht in so hohem Grade wie bei der Sulfatlösung. Cameron [5]) fand

---

[1]) 3. Auflage, 1843, S. 158.
[2]) Annalen d. Chemie u. Pharmazie v. Wöhler u. Liebig, Bd. 61 u. 62, 1847, S. 128.
[3]) Jahresber. über d. Fortschr. d. Chemie 1847—1848, v. Liebig u. Koppe S. 341.
[4]) Exp. Stat. Record, v. 14 p. 343.
[5]) Journ. Amer. Chem. Soc., vol. 24 p. 885—913.

bei Versuchen mit chemisch reinem Eisen-, Aluminium- und Kalziumphosphat, daß das Kalziumphosphat etwas besser löslich in einer Lösung von KCl und weniger leicht löslich in einer Lösung von $CaCl_2$ und $Ca(NO_3)_2$ war als in destilliertem Wasser. Das Eisenphosphat war besser löslich in einer K_2SO_4-Lösung und weniger löslich in einer KCl- und in einer $NaNO_3$-Lösung als in Wasser. Er zeigte ferner, daß das Gleichgewicht erst frühestens 10 Tage, nachdem die Lösung mit dem Phosphat zusammengebracht worden war, hergestellt wurde.

Kalmann [1]) extrahierte Erde mit einer Lösung von $CaSO_4$ und mit destilliertem Wasser. Feedler [2]) erhielt weniger P_2O_5 bei einer Extraktion des Erdbodens mit einer $NaNO_3$-Lösung als mit destilliertem Wasser. Krouch [3]) indessen fand mehr P_2O_5 mit einer Lösung von NaCl als mit Wasser. Thompson [4]) ermittelte, daß, wenn ein Superphosphat an Stelle des Ackerbodens verwendet wird, sich beide gleich gut bewähren.

Kellner [5]) und Sutherst [6]) fanden beide, daß Ca (OH_2) die P_2O_5 des Bodens leichter löslich macht. Später bestätigten Hartwell und Kellogg [7]) diese Behauptung auf der Versuchsstation von Rhode-Island.

Voelcker [8]) fand bei seinen Versuchen mit Phosphat, Knochenmehl und Cambr. Suff. Coprolith, daß diese alle leichter löslich in AmCl- und in Am_2CO_3-Lösungen seien als in destilliertem Wasser. Eine Lösung von $NaNO_3$ extrahierte mehr von dem Phosphat als Wasser, während die Coprolithe bei jedem Lösungsmittel denselben Ertrag lieferten. Sutherst [9]) fand, daß Ca (OH_2) mehr P_2O_5, aus Eisen- und Aluminiumphosphaten herauszog als Wasser; aber wenn $CaCO_3$ statt Ca (OH_2) verwendet wurde, so erhielt man dieselbe Menge

[1]) Landw. Vers.-Stat. Bd. 21 S. 349—355.
[2]) L. V. S. Bd. 26 S. 135—165.
[3]) L. V. S., S. 468—472.
[4]) Bied. Centrb. Bd. 19 S. 585—588.
[5]) Imp. Univ. Coll. Agr. Tokyo Bull. 9.
[6]) Chem. News. vol. 85 p. 157 u. vol. 92 p. 185.
[7]) Rhode Island Expt. Stat Rpt. 266, 1905.
[8]) Journ. Roy. Agr. Soc., 2nd Series, vol. 42 p. 176.
[9]) Chem. News. vol. 83 p. 157; vol. 92 p. 185.

P_2O_5 mit jedem Lösungsmittel. Er fand auch, daß sowohl eine Lösung von KCl als auch eine solche von NaCl weniger P_2O_5 aus Knochenmehl herauszog als destilliertes Wasser. Wenn er aber feines gebeuteltes Knochenmehl statt des gewöhnlich verwendeten groben ungebeutelten Knochenmehls verwendete, so fand er, daß beide Salzlösungen beträchtlich mehr P_2O_5 extrahierten als destilliertes Wasser.

A. Rindell [1]) untersuchte die Einwirkung von Wasser, Salzen und schwachen Säuren auf die drei Kalziumphosphate. Von ihm stammt auch eine kurze Übersicht über die wichtigsten der früheren Untersuchungen in dieser Richtung; daher ist es wohl nicht nötig, diese hier zu wiederholen. Am Schluß seiner Arbeit heißt es: „Schließlich haben wir die lösende Wirkung der Salze zu berühren. Da die in dieser Beziehung wirksamsten Stoffe die Staßfurter Kalisalze sind, welche an Alkalichloriden reich sind, wäre die Wirkung derselben mit derjenigen des NaCl zu vergleichen. Wir finden, daß zunächst recht konzentrierte Lösungen entstehen müssen, weshalb eine energische Auflösung vorhandener Phosphate zu erwarten ist". Es war auch seine Absicht, seine Untersuchungen auf verschiedene Phosphatdünger und verschiedene Arten des Ackerbodens auszudehnen.

Die Art und Weise, wie die Staßfurter Abraumsalze auf die Phosphatdünger wirken, ist für die Landwirtschaft von großer Bedeutung. Um noch einiges zu unserer Kenntnis über diese Frage beizutragen, wurden die folgenden Untersuchungen unternommen.

Es wurden Kalisulfat, Chlorkalium, 40 %iges Kalisalz und Kainit sowie Thomasmehl, Knochenmehl und Algierphosphat gewählt. Die Phosphatdünger wurden mit Lösungen von Kalidüngern, die 0,1 g K_2O per Liter enthielten, behandelt. Das Verhältnis der Phosphate zur Lösung betrug 1 g Phosphat auf 500 ccm Lösung.

Die Phosphate wurden in Halbliter-Flaschen mit weiten Öffnungen und geschliffenen Glaspfropfen mit den Lösungen der Kalisalze behandelt. Um zu verhindern, daß ein alka-

[1]) Dissertation Helsingfors 1899.

lischer Bestandteil des Glases in Lösung gehe und so die Stärke der verwendeten Lösung verändere, wurden die Innenseiten der Flaschen sowie der Teil der Pfropfen, der mit den Lösungen in Berührung kam, mit Paraffin versehen. Um die Pfropfen vollständig wasserdicht zu machen, wurden sie leicht mit Gummischmiere bestrichen und ein Stück Pergamentpapier wurde über jeden Pfropfen gebunden. Die Flaschen, zwanzig an der Zahl, wurden auf zwei sternförmigen Gefäßhaltern des Thermostaten[1]) befestigt und mit Hilfe eines kleinen Elektromotors in Bewegung gebracht. Diese Versuchsanordnung hielt nicht nur die Lösungen in den Flaschen in Bewegung, sondern auch gleichzeitig das Wasser im Thermostaten selbst, wodurch sich eine geichförmige Temperatur im ganzen Thermostaten selbst ergab. Alle Flaschen blieben dauernd unter Wasser von konstanter Temperatur. Nach Ablauf der erforderlichen Zeit wurden die Flaschen aus dem Gefäßhalter herausgenommen und über Nacht in aufrechter Stellung in das Bad selbst gebracht, um herbeizuführen, daß die in Suspension befindlichen Teilchen sich auf den Boden niedersetzten. Darauf wurde die Flüssigkeit sofort filtriert und die nötige Menge von dem Filtrat für die P_2O_5-Bestimmungen nach der Methode von Neubauer-Lorenz[2]) ausgemessen.

Um ein möglichst geeignetes Lösungsmittel — reines destilliertes Wasser oder mit Kohlendioxyd gesättigtes Wasser — auszuwählen und auch um den Zeitraum, nachdem das Gleichgewicht einsetzt, zu bestimmen, wurden zunächst einige vorläufige Untersuchungen mit Thomasmehl vorgenommen, wobei Thomasmehl mit reinem destilliertem Wasser und mit Kalisalzlösungen behandelt wurde. Da keine P_2O_5 in den Lösungen ermittelt werden konnte, wurde hierauf ein Versuch mit bei 20 °C mit CO_2 gesättigtem Wasser unternommen. Dasselbe Thomasmehl wurde nun mit reinem CO_2-Wasser behandelt und dann mit kohlendioxydhaltigem Wasser, das außerdem die nötige Menge an

[1]) Von F. Köhler-Leipzig.
[2]) Zeitschr. Annal. Chemie 1912 Bd. 51 S. 161—175.

Kalisalzen enthielt. Die Temperatur des Bades betrug 30 °C. Die Flaschen waren durch die Pfropfen, die Gummischmiere und das Pergamentpapier vollständig dicht geschlossen. Es wurde kein Entweichen von Kohlendioxyd bei dieser Temperatur bemerkt. Die filtrierten Lösungen wurden durch Sieden von CO_2 befreit, ehe P_2O_5 ausgefällt wurde. Die folgenden Mengen P_2O_5 wurden in den Lösungen gefunden:

Lösungsmittel	Stundenzahl	P_2O_5 %	Durchschnitt in %
CO_2-Wasser . . .	24	0.807 0.830 0.782	0.818
„	48	0.750 0.724	0.766
„	72	0.704	0.714
CO_2-Wasser + K_2SO_4	24	0.661 0.750 0.668	0.705
„	48	0.672 0.650	0.670
„	72	0.632	0.641

Dieselben Versuche wurden wiederholt mit einer anderen Probe von Thomasmehl, wobei die Ergebnisse folgende waren:

Lösungsmittel	Stundenzahl	P_2O_5 %	Durchschnitt in %
CO_2-Wasser . . .			
„	24	1.396 1.370 1.310 1.340	1.361
„	48	1.270 1.280 1.390	1.310
CO_2-Wasser + KCl .		0.98	
„	24	1.10 0.96 0.96	1.000
„	48	0.93 0.89 0.88 0.99	0.925

Aus den obigen Tabellen ersieht man, daß das Gleichgewicht anscheinend schon nach 24 Stunden einsetzt und daß die Kalisalze keinen Einfluß inbezug auf die Vermehrung der Löslichkeit des P_2O_5 ausüben. Ob nicht noch verwickeltere Vorgänge, durch stärkere Lösung von Ca und dessen Rückwirkung auf die Löslichkeit der Phosphorsäure bedingt, vorliegen, konnte zunächst nicht entschieden werden. Ein Entweichen von Kohlensäure dürfte ziemlich ausgeschlossen gewesen sein, ist experimentell aber nicht widerlegt.

Es wurden nun weiter Gemenge von Phosphatdüngern und Kalisalzen entsprechend den Versuchen von Haselhoff[1]) hergestellt. Diese Mischungen mußten dann bei einer Temperatur von 30 ° C 72 Stunden lang im Thermostaten stehen, worauf der Gehalt in einer 2 %igen Citronensäurelösung löslichen P_2O_5 bestimmt wurde und zwar auf dem gewöhnlichen Wege nach Neubauer-Lorenz.

Um die Wassermenge zu finden, die zu den Mischungen hinzugegeben werden muß, um die Kalisalze zu guter Wirksamkeit zu bringen, wurden wieder einige Voruntersuchungen unternommen:

Das Verhältnis des K_2O zu dem Phosphat blieb dasselbe wie in den vorhergehenden Versuchen, d. h. 0.05 g K_2O auf ein Gramm Phosphat. Die Wassermenge wurde nach dem Gewicht des verwendeten Phosphats berechnet und hinzugefügt. Die Mischungen enthielten 50 g Thomasmehl und entsprechende Mengen an Kalisalzen.

Substanz	P_2O_5 %	Durchschnitt in %
1. Thomasmehl	15.128 15.208	15.168
2. T-Mehl + KCl, lufttrocken	15.232 15.408	15.320
3. „ + KCl + 10 % H_2O	15.252 15.272	15.262
4. „ + KCl + 20 % H_2O	15.160 15.420	15.290
5. „ + KCl + 30 % H_2O	15.460 15.400	15.430

[1]) Landw. Zeitschr. f. Westfalen u. Lippe 1900 S. 234.

Dieselben Versuche mit einer alten Probe von Knochenmehl vom Jahre 1913, wobei 10 g Knochenmehl und die entsprechenden Mengen KCl gebraucht wurden, ergaben folgendes:

Substanz	P_2O_5 %	Durchschnitt in %
1. Knochenmehl	16.40 16.47	16.435
2. K-Mehl + KCl, lufttrocken	16.84 16.42	16.630
3. „ + KCl + 10 % H_2O	17.52 17.64	17.580
4. „ + KCl + 20 % H_2O	18.46 18.32	18.390
5. „ + KCl + 30 % H_2O	18.96 18.98	18.970

Ähnliche Versuche mit Algierphosphat, bei denen 100 g Phosphat und die entsprechende KCl-Menge verwendet wurde, ergaben:

Substanz	P_2O_5 %	Durchschnitt in %
1. Algierphosphat	10.60 10.38	10.49
2. „ + KCl, lufttrocken	10.38 10.30	10.34
3. „ + KCl + 10 % H_2O	10.58 10.46	10.52
4. „ + KCl + 20 % H_2O	10.50 10.52	10.51
5. „ + KCl + 30 % H_2O	10.36 10.38	10.37

Die Proben 4 und 5 wurden dann bei 100° C getrocknet und hierauf die Mischung wieder auf ihren Gehalt an P_2O_5 untersucht, um zu erfahren, ob das Trocknen irgend einen Einfluß auf die Löslichkeit der P_2O_5 ausübe. Das Ergebnis war das folgende:

Substanz	P_2O_5 %	Durchschnitt in %
4. wie oben, nach dem Trocknen	9.70 10.00	9.85
5. „ „ „ „ „	10.02 10.12	10.07

Obgleich das Hinzufügen vom Wasser nicht irgend einen entscheidend günstigen Einfluß zu haben schien, außer auf Knochenmehl, wurde beschlossen, zu den Mischungen in den Versuchen nur 20 % Wasser zuzugeben, berechnet auf das Gewicht des verwendeten Phosphats, da die Masse mit diesem Gehalt an Feuchtigkeit am zweckmäßigsten gehandhabt werden konnte.

Da die Voruntersuchungen zeigten, daß KCl seinen Einfluß nicht dahin geltend machte, daß mehr P_2O_5 aus dem Thomasmehl herausgezogen wurde, eine Tatsache, die zu den Versuchen Haselhoffs[1]) ganz im Widerspruch steht, wurden die Versuche nur mit Scheidemandel Knochenmehl Einsa, Dreia und Viera fortgesetzt. Es wurden Mischungen von 50 g Knochenmehl mit der entsprechenden Menge K-Salze und 20 % Wasser hergestellt und drei Tage lang bei 30 ° C im Thermostaten gelassen; dann wurde die Menge der in einer 2 %igen Citronensäurelösung löslichen P_2O_5 bestimmt. Das Ergebnis war folgendes:

Substanz	P_2O_5 %	Durchschnitt in %
1. Knochenmehl Einsa . . .	23.56 23.88	23.72
2. „ + KCl . . .	24.76 24.36	24.56
3. „ + K_2SO_4 . . .	24.35 24.70	24.52
4. „ + 40 % Kalisalz	24.48 24.80	24.64
5. „ + Kainit . . .	24.62 24.58	24.60

[1]) a. a. O.

Substanz	P_2O_5 %	Durchschnitt in %
1. Knochenmehl Dreia . . .	15.38 15.54	15.46
2. „ + KCl . . .	17.46 17.51	17.48
3. „ + K_2SO_4 . . .	16.78 16.80	16.79
4. „ + 40 % Kalisalz	15.14 15.17	15.15
5. „ + Kainit . . .	17.30 17.22	17.26

Substanz	P_2O_5 %	Durchschnitt in %
1. Knochenmehl Viera . . .	16.22 16.62	16.42
2. „ + KCl . . .	16.56 16.42	16.49
3. „ + K_2SO_4 . . .	16.70 16.40	16.55
4. „ + 40 % Kalisalz	16.60 16.30	16.45
5. „ + Kainit . . .	16,54 16.86	16.70

Die obigen Analysen zeigen, daß die Kalidünger nur auf das Knochenmehl Dreia Einfluß ausüben. Von den verschiedenen Kalisalzen zeigen Chlorkalium und Kainit die beste Wirkung; dann kommt Kalisulfat. Das 40 %ige Kalisalz scheint kaum irgend welchen Einfluß zu gewinnen, was auffällt; vielleicht liegt eine Besonderheit des Versuchs vor.

Das Verhalten der Kalziumphosphate in reinem Zustande im Wasser und in Salzlösungen ist von alters her Gegenstand der Untersuchungen gewesen. Neuerdings ist dies Problem wieder von Rindell [1]), von Cameron und Hurst [2]) und von Cameron und Seidell [3]) aufgegriffen worden. Die

[1]) Dissertation Helsingfors 1899.
[2]) Journ. Amer. Chem. Soc., Vol. 26. 2, 1904 p. 903 etc.
[3]) Ebenda, p. 1454 etc.

oben erwähnten Autoren haben eine vollständige Übersicht über die frühere Literatur zu diesem Gegenstand gegeben, und so erübrigt es sich, hier wieder bei Einzelheiten zu verweilen; da sich ihre Arbeitsmethoden in einigen Punkten von der hier eingeschlagenen Methode unterscheiden, insbesondere hinsichtlich der Apparatur, deren Aufgabe es ist, die Lösung während des ganzen Verlaufs des Versuches in Bewegung zu halten, wurde es für ratsam erachtet, auch in dieser Richtung einige Versuche anzusetzen, um Ziffern zu bekommen, die mit den aus den Phosphatdünger-Experimenten erhaltenen verglichen werden können.

Zu diesem Zwecke wurde eine Probe Kahlbaumsches Trikalziumphosphat verwendet. Es wurde mit destilliertem Wasser behandelt, und für die anderen Versuche wurden wie früher Lösungen von Kalisalzen verwendet. Das Verhältnis vom Phosphat zum Wasser oder zu der Lösung und die Konzentration der Lösung der Kalisalze war genau dieselbe wie in den vorhergehenden Versuchen. Auch die Temperatur wurde wieder auf 30 ° C erhalten, und die Rotationsdauer betrug 24 Stunden. Aus dieser Versuchsreihe ergaben sich die folgenden Werte:

Substanz	Niederschlag in Lösung entsprechend 0.5 g Substanz		P_2O_5 %
1. Phosphat + H_2O	0.1280 0.0910 0.1750 0.1650	Mittel: 0.1397 g	0.9208
2. „ + K_2SO_4 . . .	0.1630 0.1680 0.1860 0.1850	Mittel: 0.1755 g	1.1565
3. „ + KCl	0.1640 0.1630 0.1676 0.1610	Mittel: 0.1639 g	1.079

Um den Einfluß der Temperatur auf die Löslichkeit der P_2O_5 zu bestimmen, wurden dieselben Versuche bei 40 ° C

und bei 10 ° C wiederholt; die Ergebnisse zeigen folgende Aufstellungen: I. Versuche bei 40 ° C.

Substanz	Niederschlag in Lösung entsprechend 0.5 g Substanz	P_2O_5 %
1. $Ca_3(PO_4)_2 + H_2O$	0.1280 0.1910 0.1750 0.1650 0.1920 0.1790 0.1830 0.1940 0.1720 0.1730 0.1550 0.1760	durchschn.: 1.088
	Mittelwert: 0.16525 g ± 0.0057	
Substanz	Niederschlag in Lösung entsprechend 0.5 g Substanz	P_2O_5 %
2. $Ca_3(PO_4)_2 + H_2O + KCl$ . .	0.1640 0.1630 0.1676 0.1610 0.1250 0.1730 0.1810 0.1980 0.1460 0.1450 0.1424	durchschn. 1.057
	Mittelwert: 0.1605 g ± 0.0041	
3. $Ca_3(PO_4)_2 + H_2O + K_2SO_4$.	0.1630 0.1680 0.1860 0.1850 0.1790 0.1930 0.2120 0.1460 0.1450	durchschn. 1.153
	Mittelwert: 0.1750 g ± 0.0048	

Substanz	Niederschlag in Lösung entsprechend 0.5 g Substanz	P_2O_5 %
	0.1670	
	0.1790	
	0.1720	
	0.1650	
4. $Ca_3(PO_4)_2 + H_2O + 40\%$ Kalisalz	0.1440	durchschn. 1.034
	0.1376	
	0.1430	
	0.1476	
Mittelwert:	0.1569 g ± 0.0011	

II. Versuche bei 10 ° C.

Substanz	Niederschlag in Lösung entsprechend 0.5 g Substanz	P_2O_5 %
	0.1486	
	0.1450	
1. $Ca_3(PO_4)_2 + H_2O$	0.1404	durchschn. 0.926
	0.1320	
	0.1370	
Mittelwert:	0.1406 g	
	0.1278	
	0.1320	
2. $Ca_3(PO_4)_2 + H_2O + K_2SO_4$.	0.1306	durchschn. 0.889
	0.1380	
	0.1414	
Mittelwert:	0.1341 g	

Es war ursprünglich geplant, die Versuche bei verschiedenen Temperaturen zwischen 0 ° C und 40 ° C fortzusetzen und so den Einfluß der Kalisalze auf die unlöslichen Phosphate bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmen. Camerons Versuche haben jedoch gezeigt, daß die Wirkung des Wassers auf $Ca_3(PO_4)_2$ binnen 24 Stunden noch nicht zu Ende ist, sondern daß P_2O_5 selbst nach mehreren Tagen, Wochen, ja gar Monaten noch dauernd in Lösung geht. Die Versuche in dieser Richtung, wie auch die anderen in Verbindung mit den Phosphatdüngern konnten in der jetzigen Zeit nicht fortgesetzt werden, aber werden so bald wie möglich wieder aufgenommen und später mitgeteilt werden.

Ergebnisse.

1. Es ist nicht ganz belanglos, welche Art von Kalisalz wir in Verbindung mit Thomasmehl oder Knochenmehl verwenden. Die reinen Salze sind bei der Pferdebohne den geringhaltigen vorzuziehen.

2. Die Verwendung der einmaligen Kalireinsalzgabe an Stelle der getrennten Verabfolgung des Salzes rief für die schwerer löslichen Phosphate einen deutlich über die vierfache wahrscheinliche Schwankung hinausliegenden Mehrertrag gegenüber der Wirkung bei den wasserlöslichen Phosphaten hervor.

3. Die Kalireinsalzdüngung übte eine günstigere Wirkung auf das Wachstum der Pferdebohne und auf die P_2O_5-Aufnahme aus als die Rohsalzdüngung.

4. Kochsalzdüngung hat einen schädlichen Einfluß nicht nur auf das Wachstum der Pferdebohne, sondern auch auf ihre P_2O_5-Aufnahme ausgeübt.

5. Trotz des Reichtums des Sandes an $CaCO_3$ hat sich fein gemahlenes Knochenmehl als mindestens ebenso wirksam erwiesen wie Thomasmehl, sowohl hinsichtlich des Ernteertrages der Pferdebohne, als auch inbezug auf die P_2O_5-Aufnahme.

6. Die Trikalziumphosphate haben sich sämtlich als ein Hemmnis für die Nutzbarmachung der wasserlöslichen P_2O_5 der Grunddüngung selbst erwiesen.

7. Das Trocknen des feuchten und das weitere Erhitzen des getrockneten Phosphats scheint die Nutzbarmachung der P_2O_5 zu steigern.

8. Die Löslichkeitsversuche bestätigen das unter Umständen eintretende, vermehrte Löslichwerden von Knochenmehlphosphorsäure durch Kalisalzdüngung.

9. Die große Bedeutung der Art und Form der Beidüngung hinsichtlich der Ausnutzung schwerer löslicher Düngemittel beim Vegetationsversuch, und wohl auch ebenso bei allen anderen Versuchen erscheint durch meine Versuche erneut bewiesen zu sein, und dürfte wohl in Zukunft mehr Beachtung verdienen.

Diese Arbeit wurde auf Anregung des Herrn Prof. Dr. P. Ehrenberg im hiesigen agrikulturchemischen Institut ausgeführt.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, ihm für seine wertvollen Ratschläge und sein stets bereitwilliges Entgegenkommen meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

Tabelle 1.

	Gefäß Nr.	T. S.: Masse gr		P_2O_5 mgr	
		I. Ernte	II. Ernte	I. Ernte	II. Ernte
I. a)	279	33.59	37.39	121.2	170.15
	280	36.46	42.36	144.2	160.20
	281	33.53	25.94	118.9	92.34
	282	33.24	32.27	126.7	132.60
	289	33.93	31.98	142.3	141.45
	Mittel	34.15 ± 0.40	33.99 ± 1.86	130.6 ± 3.47	139.35 ± 9.10
b)	290	33.40	26.37	111.1	97.35
	291	31.31	27.97	138.5	103.15
	292	32.89	29.17	109.8	114.63
	293	34.91	30.57	126.6	124.12
	294	36.86	33.00	109.3	140.60
	Mittel	33.87 ± 0.63	29.42 ± 0.74	119.0 ± 3.93	115.97 ± 5.19
c)	295	42.24	16.27	145.10	56.42
	296	34.57	18.59	104.30	76.59
	297	34.53	21.63	114.90	88.09
	298	34.13	33.44	98.75	132.86
	299	31.07	22.99	116.30	94.35
	Mittel	35.30 ± 1.24	22.58 ± 2.01	115.87 ± 5.40	89.66 ± 8.48
d)	300	31.20	19.53	118.70	101.99
	301	30.83	17.01	128.90	74.10
	302	30.25	15.73	115.90	84.00
	303	30.27	16.63	95.20	88.80
	304	29.63	14.47	91.23	64.80
	Mittel	30.44 ± 0.57	16.67 ± 0.56	109.98 ± 4.86	82.74 ± 4.28
Sand 2)					
b)	265	31.18	35.15	173.60	173.25
	266	28.55	35.59	189.00	189.60
	Mittel	29.87	35.37	181.30	181.43

Tabelle 2.

	Gefäß Nr.	T. S.: Masse gr		P_2O_5 mgr	
		I. Ernte	II. Ernte	I. Ernte	II. Ernte
II. a)	305	43.02	42.78	172.3	230.00
	306	39.36	37.84	148.4	192.00
	307	39.97	41.89	162.5	193.50
	308	35.02	39.66	173.8	216.00
	309	27.73	51.19	132.2	232.20
	Mittel	37.02 ± 1.78	42.67 ± 1.55	157.84 ± 4.35	212.74 ± 5.81
b)	310	27.96	40.32	142.4	189.84
	311	29.30	43.51	136.7	223.25
	312	17.27	46.78	101.6	222.75
	313	29.23	35.84	135.1	191.97
	314	24.22	24.86	116.2	124.85
	Mittel	25.59 ± 1.52	38.26 ± 2.59	126.4 ± 5.13	190.53 ± 12.08
c)	315	26.62	37.30	131.4	162.00
	316	25.93	35.88	115.7	154.44
	317	27.17	36.97	138.1	158.00
	318	25.67	40.29	139.2	174.25
	319	33.32	41.91	154.1	241.15
	Mittel	27.74 ± 0.94	38.47 ± 0.76	135.7 ± 4.20	177.97 ± 10.88
d)	320	26.88	26.22	135.90	160.60
	321	31.69	23.35	132.40	98.80
	322	27.50	21.41	129.30	112.80
	323	32.91	24.02	140.80	115.02
	324	24.38	22.39	126.50	102.00
	Mittel	28.67 ± 1.07	23.48 ± 0.55	132.9 ± 81.69	117.84 ± 7.50
Sand 2)					
b)	268	41.63	40.63	254.19	240.30
	269	36.58	32.41	230.75	134.90
	270	37.04	34.65	238.95	204.05
	Mittel	38.42	35.89	241.30	193.08

Tabelle 3.

	Gefäß Nr.	T. S.: Masse gr		P_2O_5 mgr	
		I. Ernte	II. Ernte	I. Ernte	II. Ernte
III. a)	325	30.65	48.41	115.60	187.20
	326	23.09	35.84	87.70	135.45
	327	28.00	47.38	107.00	188.70
	328	25.68	33.86	97.35	165.00
	Mittel	26.85 ± 1.08	41.37 ± 2.56	101.91±4.06	169.09±8.39
b)	329	35.47	33.74	124.60	151.70
	330	34.48	38.05	128.40	189.00
	331	34.33	54.69	122.45	206.50
	332	21.22	47.47	85.75	227.25
	Mittel	31.37 ± 2.29	43.49 ± 3.17	115.30±6.69	193.61±10.79
c)	333	27.65	27.08	107.60	106.75
	334	26.20	32.02	99.12	113.95
	335	31.22	26.88	108.50	111.74
	338	27.61	26.75	99.20	102.60
	Mittel	28.17 ± 0.72	28.18 ± 0.86	103.60±1.73	108.76±1.72
d)	339	23.11	17.08	85.80	74.86
	340	26.68	20.75	89.10	85.50
	341	20.23	18.54	94.00	84.84
	342	24.23	22.69	101.70	122.50
	Mittel	23.56 ± 0.88	19.76 ± 0.83	92.65 ± 2.33	91.93 ± 7.06

Tabelle 4.

	Gefäß Nr.	T. S.: Masse gr		P_2O_5 mgr	
		I. Ernte	II. Ernte	I. Ernte	II. Ernte
IV. a)	343	32.13	33.97	155.50	171.00
	344	28.83	36.02	124.95	186.20
	345	29.68	32.15	133.33	184.68
	346	31.62	40.24	141.80	222.60
	Mittel	30.56 ± 0.62	35.60 ± 1.17	138.90 ± 4.59	191.12 ± 7.44
b)	347	29.40	33.67	147.27	176.25
	348	30.38	39.73	142.00	201.60
	349	31.30	41.49	159.80	187.05
	350	27.66	43.50	123.95	191.10
	Mittel	29.68 ± 0.53	39.60 ± 1.43	143.23 ± 5.01	189.00 ± 3.53
c)	351	30.53	28.06	116.28	135.45
	352	31.43	30.32	124.25	130.00
	353	25.11	23.93	91.45	103.35
	354	32.72	25.39	138.70	102.60
	Mittel	29.95 ± 1.13	26.93 ± 0.96	117.67 ± 6.67	117.85 ± 5.84
d)	355	24.04	21.73	103.04	99.22
	356	23.53	27.43	92.68	124.70
	357	26.49	17.37	96.90	81.90
	358	24.90	19.39	95.60	77.90
	Mittel	24.74 ± 0.39	21.48 ± 1.46	97.05 ± 1.47	95.93 ± 7.17

Tabelle 5.

	Gefäß Nr.	T. S.: Masse gr		P_2O_5 mgr	
		I. Ernte	II. Ernte	I. Ernte	II. Ernte
V. a)	359	28.89	32.96	102.30	120.75
	360	30.05	41.45	115.50	149.60
	361	18.57	28.97	87.54	103.70
	362	31.45	26.94	112.54	114.76
	Mittel	27.24 ± 1.97	32.58 ± 2.16	104.47 ± 4.25	122.20 ± 6.60
b)	363	25.57	37.51	92.80	123.01
	364	36.38	37.84	130.35	126.40
	365	26.71	36.89	105.91	174.15
	366	31.70	34.68	121.41	138.70
	Mittel	30.09 ± 1.67	36.73 ± 0.48	112.62 ± 5.60	140.56 ± 7.88
c)	367	25.85	28.02	90.80	99.00
	368	31.76	32.15	116.61	127.65
	369	28.75	37.26	109.12	141.75
	370	29.60	30.65	116.88	86.94
	Mittel	28.99 ± 0.82	32.02 ± 1.31	108.35 ± 4.13	113.84 ± 8.51
d)	371	34.96	21.76	123.12	69.58
	372	27.29	18.57	98.10	83.20
	373	32.10	18.39	108.63	84.00
	374	30.79	15.43	106.20	69.19
	Mittel	31.28 ± 1.07	18.54 ± 0.87	109.01 ± 3.51	76.49 ± 2.77
Sand 2)					
b)	271	31.15	26.49	163.65	157.41
	272	29.84	34.15	166.65	199.80
	273	34.41	33.88	157.42	145.90
	Mittel	31.80	31.50	162.57	167.70

Tabelle 6.

	Gefäß Nr.	T. S.: Masse gr		P_2O_5 mgr	
		I. Ernte	II. Ernte	I. Ernte	II. Ernte
VI. a)	375	26.99	32.90	101.48	133.94
	376	35.14	42.41	120.75	182.45
	377	34.21	28.00	107.88	119.70
	378	31.32	30.05	122.10	108.80
	Mittel	31.92 ± 1.23	33.34 ± 2.13	113.05 ± 3.38	136.22 ± 10.95
b)	379	39.25	30.94	124.01	128.06
	380	33.93	33.11	126.72	129.50
	381	37.26	33.28	128.23	122.50
	382	33.97	37.58	119.52	186.30
	Mittel	36.10 ± 0.88	33.73 ± 0.94	124.62 ± 1.29	141.59 ± 10.09
c)	383	28.78	21.11	107.20	88.92
	384	26.15	26.73	85.47	94.40
	385	27.76	22.83	112.96	93.24
	386	30.56	15.84	132.77	63.72
	Mittel	28.31 ± 0.59	21.63 ± 1.54	109.60 ± 6.56	85.07 ± 4.86
d)	387	28.44	14.05	105.21	76.93
	388	23.70	15.44	101.66	80.84
	389	27.24	15.93	83.96	72.00
	390	24.96	22.73	73.44	113.40
	Mittel	26.09 ± 0.72	17.04 ± 1.31	91.07 ± 5.04	85.79 ± 6.32

Tabelle 7.

	Gefäß Nr.	T. S.: Masse gr		P_2O_5 mgr	
		I. Ernte	II. Ernte	I. Ernte	II. Ernte
VII. a)	391	22.67	27.51	86.42	98.24
	392	29.07	24.81	120.00	112.00
	393	22.76	21.57	110.93	84.60
	394	27.50	20.52	122.22	93.07
	Mittel	25.50 ± 1.11	23.60 ± 1.07	109.89 ± 5.52	96.98 ± 3.87
b)	395	28.60	20.87	106.16	89.30
	396	24.91	22.64	81.80	96.90
	398	22.24	26.81	84.66	120.00
	399	24.18	21.19	86.50	87.69
	Mittel	24.98 ± 0.90	22.88 ± 0.92	89.78 ± 3.74	98.47 ± 5.02
c)	400	21.98	24.39	85.68	100.64
	402	20.03	14.56	96.35	82.62
	405	26.61	25.84	81.54	90.52
	408	26.41	17.03	100.74	71.04
	Mittel	23.76 ± 1.10	20.46 ± 1.86	91.08 ± 3.02	86.20 ± 4.22
d)	407 A	20.98	15.75	118.75	93.81
	407 B	24.74	19.71	116.20	127.60
	715	30.22	20.94	130.65	97.29
	753	18.09	11.54	78.47	79.20
	Mittel	23.51 ± 1.76	16.99 ± 1.43	111.02 ± 7.61	99.48 ± 6.85

Tabelle 8.

	Gefäß Nr.	T. S.: Masse gr.		P_2O_5 mgr	
		I. Ernte	II. Ernte	I. Ernte	II. Ernte
VIII. a)	275	28.21	36.37	110.50	198.45
	276	28.88	36.02	126.16	233.05
	277	35.85	34.73	134.85	258.75
	278	37.10	35.77	103.75	188.65
	Mittel	32.51 ± 1.66	35.72 ± 0.94	118.82±4.79	219.73±10.87
b)	685	29.04	31.56	145.82	202.35
	714	21.87	39.58	143.82	234.90
	661	36.94	28.18	144.72	207.95
	704	30.10	37.47	175.95	233.70
	Mittel	29.49 ± 2.08	34.20 ± 1.77	152.58±5.26	219.73±5.72
c)	760	31.94	28.48	115.46	151.20
	773	35.85	34.99	125.44	209.35
	639	31.44	35.04	153.30	142.45
	768	38.11	35.02	169.65	210.60
	Mittel	34.34 ± 1.08	33.38 ± 1.10	140.96±8.41	178.40±12.34
d)	550	30.16	29.25	142.80	118.40
	662	34.50	25.14	145.30	89.60
	684	28.60	26.59	120.33	78.40
	750/2	27.21	18.14	70.15	70.72
	Mittel	30.12 ± 1.07	24.78 ± 1.60	119.65 ± 11.75	89.28 ± 7.04

Lebenslauf.

Ich, Narasimha Aiyangar, aus Bangalore, Sohn des Privatmann Shama Aiyangar, aus Bangalore, Indien, wurde am 4. September 1882 geboren.

Nachdem ich im Jahre 1899 das Matrikulations-Examen der Universität Madras bestanden hatte, besuchte ich das „College“ zu Shimoga, Indien, bis 1901, und dann das „Central College“ Bangalore bis Ende 1903, als ich das Zeugnis der B.A. der Universität Madras erwarb. Vom Mai 1904 bis Juni 1905 arbeitete ich bei Herrn Doktor Adolf Lehmann im agrikulturchemischen Laboratorium der landw. Versuchsstation in Bangalore. Im Juni 1905 war ich als Assistent dortselbst angestellt.

Nach 8 jähriger Tätigkeit als Assistent beschloß ich mein Studium weiter fortzusetzen, und ließ mich zu diesem Zwecke an der „Georgia Auguta“ im W.S. 1913 immatrikulieren, wo ich durch die dankenswerte Erlaubnis des Kultusministeriums mein Studium bis jetzt fortsetzen durfte.

In Göttingen habe ich bei den folgenden Professoren Vorlesungen gehört und praktisch gearbeitet: Berthold, Coehn, Paul Ehrenberg, Fleischmann, Koch, Franz Lehmann Nolte, v. Seelhorst, Wallach, Wedekind, Windaus, Zsigmondy.

Allen diesen meinen verehrten Lehrern, insbesondere aber den Herren Ehrenberg, Koch und Wallach, bin ich für ihre Belehrungen, Rat und wertvollen Beistand zu stetem Dank verpflichtet.